



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
FACULTAD DE CIENCIAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: COMUNICACIÓN DE LA CIENCIA

**PROPUESTA METODOLÓGICA
PARA EL ANÁLISIS HERMENÉUTICO DE
DOCUMENTALES DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTORA EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

P R E S E N T A:
MARCELA MARTÍNEZ RODRÍGUEZ

TUTORA:
DRA. MARÍA DEL CARMEN SÁNCHEZ MORA
DIRECCIÓN GENERAL DE DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA (DGDC), UNAM

COMITÉ TUTOR:
DRA. MARÍA DEL CARMEN SÁNCHEZ MORA, DGDC, UNAM
DRA. GLORIA VALEK VALDÉS, DGDC, UNAM
DRA. FERNANDA SAMANIEGO BAÑUELOS, FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS, UNAM

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., mayo de 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A **Sergio Alcántara Islas** por su amor, cariño, amistad y apoyo incondicional en cada proyecto, gracias por motivarme a emprender y, sobre todo, por ser mi compañero de vida desde hace 16 años, por las sincronías que hemos atravesado, y las que aún faltan, te amo mucho.

A **Susana Rodríguez Guzmán** y **Carlos Chávez**, por amarme y motivarme incondicionalmente, les amo. A **María Luisa Chávez Lucio**, **Isabel Chávez Lucio**, **Juana Guzmán Jiménez** (*in memoriam*) y **Pedro Rodríguez Cadena** (*in memoriam*), gracias por las enseñanzas y los recuerdos que atesoro en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a las queridísimas doctoras **Carmen Sánchez Mora**, **Gloria Valek Valdés** y **Fernanda Samaniego Bañuelos** por su generosidad desde inicios de la maestría; gracias por su paciencia, dedicación, atención y recomendaciones, su valiosa asesoría fue fundamental para emprender y concluir esta investigación. Asimismo, agradezco al **Dr. Julio Amador Bech**, arquetipo de sabiduría y guía fundamental para comprender la hermenéutica y concretar esta investigación; al **Mtro. Felipe López Veneroni**, por leer y confiar en esta investigación.

Al **Dr. Bienvenido León**, por sus enriquecedoras observaciones a los apartados 1.4.2. El documental y sus modos de representación, y 1.4.3. Orígenes y características del documental de divulgación de ciencia, de la presente investigación.

A mis querid@s amig@s: **Jennifer Victoria Hernández**, **Daniela Caballero Vázquez**, **Ivonne Aguilar Chombo**, **Leonardo Nájera Rodríguez**, **Jesús Arredondo Cote**, **Anaid Linares Aviña**, **Juan Carlos Gutiérrez Valle**, **Serena Chew Plascencia** y **Julio Pisanty**.

A **Sari Islas Ramírez** y a mis sobrinas **Karen**, **Dea** y **Behrang Alcántara Ortega**. A **Abisái** y **Mildred Juárez Victoria**. A **Juan Sebastián Chávez Peña** (*in memoriam*), **Adán Ventura García** (*in memoriam*). A **Mónica Chávez Peña** y **Belén Rojas Chávez**.

A los amigos que conocí durante el doctorado y me apoyaron con sus valiosos conocimientos: **Citlaly (Titi) Aguilar Campos**, **Kathia García**, **Héctor Lujambio**. A mis compañeros del posgrado: **Laura Rosales**, **Marita Rodríguez** y **Blanca Cárdenas**.

Agradezco a CONACyT la beca otorgada para la realización de esta investigación entre agosto de 2016 y julio de 2020.



*O Omnipresent, the embodiment of all virtues, the
creator of this cosmic universe, the King of
dances, who dances the Ananda Tandava in the
twilight, I salute thee*

Verso 56 del Sivanandalahari de Sri Adi Sankara.
Descripción en la placa al pie de la escultura de
Shiva Natarāja en el CERN

*Fatti non foste a viver come bruti,
ma per seguir virtute e canoscenza*
Dante Alighieri, Divina Comedia

*¿Why do humans do science? ¿Why do they do
art? The things that are least important for our
survival are the very things that make us human*
Savas Dimopoulos

Índice

<i>Introducción</i>	6
<i>Capítulo 1: La hermenéutica como herramienta para analizar documentales de divulgación científica</i>	8
1.1 La hermenéutica.....	8
1.2 La triple mimesis de Paul Ricoeur para el análisis de los textos.....	12
1.2.1 Mimesis I.....	17
1.2.2 Mimesis II.....	18
1.2.3 Mimesis III.....	18
1.3 Las tres dimensiones de Julio Amador para el análisis de la imagen.....	19
1.3.1 La dimensión formal.....	20
1.3.2 La dimensión simbólica.....	22
1.3.3 La dimensión narrativa.....	26
1.4. El documental de divulgación de la ciencia.....	28
1.4.1. La divulgación de la ciencia: definición, características y objetivos.....	28
1.4.2. El documental y sus modos de representación.....	32
1.4.3. Orígenes y características del documental de divulgación de ciencia.....	34
1.4.3.1. Técnicas narrativas.....	40
1.4.3.2. Técnicas dramáticas.....	44
1.4.3.3. Técnicas argumentativas.....	45
<i>Capítulo 2: Metodología para el análisis de Particle Fever</i>	48
2.1 Procedimientos necesarios para comenzar el análisis.....	50
2.2. Análisis formal.....	54
2.2.1. Formal analítico-descriptivo.....	54
2.2.2. Formal semiótico.....	55
2.2.3. Formal histórico-cultural.....	55
2.3. Análisis simbólico.....	55
2.3.1. Simbólico analítico-descriptivo.....	56
2.3.2. Simbólico semántico.....	57
2.3.3. Simbólico histórico-cultural.....	57

2.4. Análisis narrativo.....	58
2.4.1. Narrativo analítico-descriptivo.....	58
2.4.2. Narrativo semántico.....	58
2.4.3. Narrativo histórico-cultural.....	59
<i>Capítulo 3: Análisis hermenéutico de Particle Fever.....</i>	<i>64</i>
3.1. Procedimientos necesarios para comenzar el análisis.....	64
a) Delimitación.....	64
b) Finalidad del análisis.....	66
c) Metodología del análisis.....	67
d) Segmentación.....	67
e) Estratificación.....	67
f) Catálogo de elementos identificados en la segmentación y estratificación.....	72
g) Orden y jerarquía de los elementos identificados.....	72
h) Escaleta.....	74
3.2. Análisis formal.....	74
3.2.1. Formal analítico-descriptivo.....	74
3.2.2. Formal semiótico.....	78
3.2.3. Formal histórico-cultural.....	81
3.3. Análisis simbólico.....	88
3.3.1. Simbólico analítico-descriptivo.....	88
3.3.2. Simbólico semántico.....	101
3.3.3. Simbólico histórico-cultural.....	105
3.4. Análisis narrativo.....	112
3.4.1. Narrativo analítico-descriptivo.....	112
3.4.2. Narrativo semántico.....	123
3.4.3. Narrativo histórico-cultural.....	125
<i>Capítulo 4: Discusión de Resultados.....</i>	<i>163</i>
4.1. Discusión de la metodología diseñada.....	163
4.1.1. Problemas enfrentados al diseñar la metodología.....	163
4.1.2. Problemas presentados al hacer el análisis.....	170
4.1.3. Recomendaciones para la aplicación de la metodología.....	174
4.2. Discusión del producto analizado.....	175
4.2.1. Aportaciones de <i>Particle Fever</i> a los documentales de divulgación de ciencia.....	175

4.2.2. Elementos mejorables de <i>Particle Fever</i>	180
4.2.3. Sugerencias en la producción de documentales de divulgación de ciencia.....	181
<i>Guías metodológicas</i>	184
Guía de análisis de producciones audiovisuales de divulgación de ciencia.....	184
Guía de elementos importantes que idealmente deberían incluir los audiovisuales de divulgación de ciencia.....	194
<i>Conclusiones</i>	203
Conclusiones de la metodología empleada.....	203
Conclusiones del análisis a <i>Particle Fever</i>	205
<i>Anexos</i>	210
Capítulo 2, cuadro 1: El recorrido del análisis.....	210
Capítulo 2, cuadro 2: Los procedimientos del análisis.....	211
Capítulo 3, primera sección: Episodios.....	212
Capítulo 3, primera sección: Secuencias.....	215
Capítulo 3, segunda sección: Intervenciones de protagonistas.....	232
Capítulo 3, tercera sección: Escaleta.....	240
Capítulo 3, cuarta sección: Animaciones y gráficos animados.....	247
<i>Referencias</i>	252

Introducción

La presente investigación consiste en un análisis hermenéutico de *Particle Fever* (Levinson, 2013), documental de ciencia que narra la vida académica de siete investigadores, de nacionalidades diversas, que trabajaron en el CERN entre 2008 y 2012. Para analizar este documental se diseñó una metodología que conjuga planteamientos teóricos de Paul Ricoeur (2004), Bienvenido León (2010), Francesco Casetti y Federico di Chio (2016), Julio Amador (2017) y Marcela Martínez-Rodríguez (2016). Lo anterior con la finalidad de identificar, comprender, describir e interpretar aspectos formales, simbólicos, narrativos y de filosofía de la ciencia presentes en *Particle Fever*. Esta propuesta metodológica establece parámetros básicos para el análisis exhaustivo de documentales de ciencia, pues hasta ahora no existía una metodología específica que tomara en consideración elementos de la filosofía de la ciencia (relacionados con la provisionalidad del conocimiento, la diversidad de métodos, la creatividad, el contexto social, el uso de los modelos, entre otros). Generalmente el análisis cinematográfico únicamente aborda aspectos formales y narrativos de los filmes (Nichols, 2007 y 2013; Casetti y di Chio, 2016); mientras que los análisis de documentales de ciencia se enfocan mayormente en el contenido científico (Silverstone, 1984; Van Dijck, 2006; León, 2010); ambas perspectivas analíticas dejan fuera elementos de la filosofía de la ciencia.

El documental *Particle Fever* (2013) fue elegido por ser reciente, por abordar de manera novedosa la ciencia y por divulgar un tema coyuntural y característico de la ciencia contemporánea: la detección del bosón de Higgs. Asimismo, este documental emplea elementos fundamentales de la narración audiovisual: personajes con una motivación, incidente incitador, elementos de conflicto, *suspense* y clímax con resolución. Aunado a lo anterior, los recursos visuales, la banda sonora y el montaje conforman una sintaxis audiovisual encomiable. Finalmente, también obtuvo diversos premios en festivales internacionales de cine documental y divulgación científica¹.

Se eligió la hermenéutica como herramienta para la interpretación y comprensión del significado, como instrumento teórico y metodológico, porque se adapta a la obra a analizar; asimismo, permite percibir las características peculiares de la obra sin imponer un modelo apriorístico. La hermenéutica es un molde flexible que brinda el soporte necesario para analizar los elementos fundamentales del audiovisual, pero también ofrece la plasticidad necesaria para insertar elementos específicos de este particular objeto de estudio. Analizar un documental de divulgación desde la perspectiva de la comunicación y, específicamente, con base en una teoría y metodología hermenéutica, implica considerar esta obra un medio para transmitir un significado

¹ *Particle Fever* ha ganado al menos 11 premios desde 2013 a la fecha. Entre ellos se encuentran: el Premio del Jurado en el 360° *Contemporary Science Film Festival* de Moscú (2013); el Premio de la Audiencia del *Sheffield International Documentary Festival* (2013); el Premio *Grand Ecran* del Festival *Pariscience* de París (2014); Premio Grierson por Mejor Documental de Ciencia en el *British Documentary Awards* de Londres (2014); Premio por mejor investigación y guión en el *Ahvaz International Science Film Festival* de Dubai (2015); y también fue acreedor a la *Stephen Hawking Medal for Science Communication in Film* (2016), entre otros.

determinado a los espectadores, es decir, se considera portador de un mensaje susceptible de ser reinterpretado por el espectador.

Analizar este documental desde la hermenéutica ayuda a tener una mejor comprensión de los elementos que lo integran, pero también de su significado. Esto implica ir más allá del análisis de elementos audiovisuales formales, o del discurso de la divulgación; sino también distinguir su significación a partir de elementos de la filosofía de la ciencia implícitos. Se trata de conocer cómo está constituido el documental para crear sentido, y saber de qué manera despliega los diversos elementos que lo integran, y cómo estos en conjunto comunican valores en un contexto dado, que a su vez pretenden cumplir una determinada función social.

La herramienta hermenéutica reúne aspectos formales, simbólicos, narrativos y filosóficos necesarios para observar y analizar este fenómeno particular lo más detalladamente posible. Sin embargo, es importante aclarar que este análisis no pretende ser definitorio, pues el significado y la interpretación son inagotables. El instrumento metodológico está conformado por nueve niveles que abordan la dimensión formal, simbólica y narrativa. La triple mimesis de Ricoeur, junto con las tres dimensiones hermenéuticas para el análisis de la imagen de Amador, constituyen el armazón principal. Lo anterior es reforzado con elementos analíticos aportados por Casetti y di Chio, León y Martínez-Rodríguez, principalmente.

La presente investigación se compone de cuatro capítulos y dos guías metodológicas. El primer capítulo está conformado por cuatro secciones: la primera explica qué es la hermenéutica por medio de un breve recuento de sus diferentes acepciones; la segunda describe la propuesta hermenéutica de Ricoeur y su planteamiento de la triple mimesis; la tercera aborda la propuesta de análisis de la imagen establecida por Amador; y la cuarta describe elementos circundantes al documental de divulgación de ciencia. Con base en lo anterior, en el segundo capítulo se expone detalladamente la metodología para el análisis a lo largo de cuatro secciones. En el tercer capítulo se desarrolla el análisis de *Particle Fever* en cuatro secciones: la primera describe los procedimientos necesarios para comenzar el análisis, la segunda presenta el análisis formal, la tercera el análisis simbólico, y la cuarta el narrativo. El cuarto, y último, capítulo consiste en la discusión de resultados en dos secciones: la primera aborda la discusión de la metodología diseñada para el análisis del documental, y en la segunda se discute el producto analizado.

Finalmente, tanto la metodología desarrollada en el capítulo 2, como el detallado análisis de *Particle Fever* en el capítulo 3, se resumen en dos guías prácticas: la primera para ayudar a personas interesadas en analizar audiovisuales de divulgación de ciencia; y la segunda para que guionistas, productores o realizadores de estos materiales consideren elementos que muestren a su público un trabajo científico más cercano a la realidad, que refleje sus alcances y limitaciones. Por último, se presentan las conclusiones de la investigación.

Capítulo 1

La hermenéutica como herramienta para analizar documentales de divulgación científica

Este capítulo está integrado por cuatro secciones: la primera describe la perspectiva hermenéutica empleada en el análisis de la obra; la segunda relata la propuesta hermenéutica de triple mimesis de Ricoeur; la tercera detalla la propuesta de análisis de la imagen, establecida por Amador; y la cuarta aborda el documental de divulgación científica a lo largo de tres apartados: el primero explica en qué consiste la divulgación de la ciencia y sus objetivos; el segundo abunda sobre el documental y sus modos de representación; y el tercero acota origen y características de los documentales de ciencia. El objetivo de esta sección es presentar, y describir detalladamente, la base teórica empleada en la metodología de análisis de documentales de divulgación científica.

1.1 La hermenéutica

Interpretar proviene de la palabra griega ἐρμηνεύειν (*hermeneúein*), que designa tanto el proceso de elocución (enunciar, decir, afirmar algo), como el de interpretación (o traducción). En ambos casos consiste en la transmisión de significado, que puede ir del pensamiento al discurso, o del discurso al pensamiento (Grondin, 2008). El término hermenéutica ha tenido por lo menos tres acepciones diferentes que se resumen a continuación:

- a) En una primera etapa, que va del siglo XVII (con Johann Conrad Dannhauer, 1603-1666) hasta aproximadamente finales del siglo XVIII (con Friedrich Schleiermacher, 1768-1834), la hermenéutica se consideraba una disciplina auxiliar en el arte de interpretar textos (principalmente teológicos, pero también jurídicos), (*idem*). Schleiermacher² sentó las bases de una hermenéutica más reflexiva, y menos accesoria, que condujo a una segunda etapa.
- b) La segunda etapa ocurrió aproximadamente desde finales del siglo XVIII hasta la segunda mitad del siglo XIX. Comenzó con aportaciones ideológicas de Friedrich Schleiermacher y finalizó con la intervención de Wilhelm Dilthey (1833-1911). Durante este período la hermenéutica trascendió como reflexión metodológica sobre la pretensión de verdad (para las denominadas “ciencias del espíritu”), pretendía un estatus que la igualara a las “ciencias naturales” mediante una metodología propia (*idem*, p. 18).

Schleiermacher estudió hermenéutica principalmente en relación con su actividad teológica y a partir de la retórica (Ferraris, 2005), distinguió entre interpretación gramatical e interpretación psicológica (Grondin, 2008). Asimismo consideró que la hermenéutica necesitaba de un método para convertirse en una *Kunstlehre*, en la doctrina de un arte de comprender que significaría “reconstruir la génesis de”, de acuerdo con el idealismo alemán, en el que “se comprende algo cuando se capta su génesis, a partir de un primer principio” (Grondin, 2008, p. 33).

² Schleiermacher nació en el Reino de Prusia, hoy Alemania, fue filólogo, filósofo y principalmente teólogo, asimismo estudió y escribió sobre hermenéutica. Se le reconoce por haber traducido al alemán las obras completas de Platón.

Con Schleiermacher se amplió la concepción de hermenéutica, pasó de ser únicamente el arte de interpretar textos (principalmente sagrados), a constituir un método para interpretar cualquier aspecto que pudiera ser comprendido. Esto de ninguna manera significa que la interpretación sea infinita, pues Schleiermacher trató de establecer límites para esta, por ejemplo mencionó que el fenómeno a interpretar debía comprenderse en su contexto, es decir, a partir de la obra y de la biografía del autor, que surgen en una época histórica determinada que, a su vez, es parte de un marco histórico más amplio (*ídem*). Schleiermacher sentó las bases para que la hermenéutica se convirtiera en una reflexión metodológica; esta reflexión fue ampliamente abordada por Wilhelm Dilthey en lo que aquí se designa como tercera etapa.

- c) La tercera etapa tuvo lugar entre la segunda mitad del siglo XIX y durante el siglo XX. Comenzó con Dilthey y continuó con Martin Heidegger (1889-1976)³, Hans Georg Gadamer (1900-2002) y Paul Ricoeur (1913-2005) principalmente. A partir de este período la hermenéutica se consideró una filosofía universal de la interpretación. La interpretación era considerada por Dilthey como una característica esencial de la presencia del ser humano en el mundo. Asimismo, para Heidegger la hermenéutica se relaciona con la existencia misma del Ser y, por lo tanto, esta consiste en un problema ontológico, pues la existencia es interpretación.

Aunque Schleiermacher ya había introducido la necesidad de una reflexión metodológica en la hermenéutica, fue Dilthey quien ahondó en ella. Su interés por la filosofía surgió a partir de la lectura de *Lógica*, de Immanuel Kant (1724-1804); a mediados del siglo XIX encontró la obra de Schleiermacher y quedó fascinado al grado de escribir una biografía sobre él (Lince, 2013). En *Introducción a las ciencias del espíritu* (1883), Dilthey estableció una distinción entre las ciencias del espíritu y las ciencias naturales, que consiste en que las últimas explican los fenómenos en términos de causa y efecto, mientras que en las primeras se aplica principalmente la comprensión (Lince y Amador, 2013). Dilthey basaba la anterior diferenciación en dos verbos:

(...) se inspira en la distinción del historiador Droysen (1808-1884) entre ‘explicar’ (*Erklären*) y ‘comprender’ (*Verstehen*). Mientras que las ciencias puras buscan explicar los fenómenos a partir de hipótesis y leyes generales, las ciencias del espíritu quieren comprender una individualidad histórica a partir de sus manifestaciones exteriores. La metodología de las ciencias del espíritu será de esta manera una metodología de la comprensión.
(Grondin, 2008, p. 39).

En contra de las ideas positivistas empiristas de Auguste Comte (1798-1857) y de John Stuart Mill (1806-1873), quienes pensaban que las ciencias del espíritu no contaban con métodos

³ Heidegger nació en Baden, Alemania. Estudió teología y filosofía en la Universidad de Friburgo. Fue alumno y asistente de Edmund Husserl (1859-1938). Entre las obras más significativas de Heidegger se encuentra *Ser y tiempo* (1927), se considera importante porque rompe con las filosofías basadas en la teoría del conocimiento. Asimismo, se considera un texto existencial porque Heidegger considera al hombre como un ser que está arrojado en el mundo, al que denomina *Dasein* (que en alemán significa “ser ahí”).

similares a los de las ciencias de la naturaleza (para ser consideradas verdaderas ciencias), Dilthey pretendía fundamentar las ciencias del espíritu con una lógica, una epistemología y una metodología propias (Grondin, 2008). Dilthey apelaba a una “conciencia histórica”, es decir, a la capacidad de comprender los textos escritos no aisladamente, sino considerando el autor, estudiando su biografía y situándolo en su contexto para comprender el significado de su obra. Para Dilthey comprender significaba “*re-vivir* desde nuestro propio sitio y circunstancia una historia de vida ajena o distante.” (Lince y Amador, 2013, p. 13).

El cambio de perspectiva que ocurre en esta tercera etapa es continuada por Heidegger. De una hermenéutica como arte de interpretación de textos (concebida así entre los siglos XVII y XVIII), y como metodología de las ciencias del espíritu (entre los siglos XVIII y XIX), se alcanzó una hermenéutica filosófica, desarrollada primeramente por Heidegger y continuada por Gadamer y Ricoeur. Una hermenéutica relacionada con la existencia misma del Ser, por lo tanto, una hermenéutica ontológica.

Esta última acepción de hermenéutica será empleada a lo largo de esta investigación, ya que a partir de ella Ricoeur desarrolló la idea de la triple mimesis, una de las columnas teóricas sobre la cual se constituyó la metodología para analizar *Particle Fever*. La otra columna teórica está basada en la propuesta de análisis de la imagen de Julio Amador, quien se apoya en Heidegger, Gadamer, Ricoeur, Erwin Panofsky y Gilbert Durand. En tanto que Ricoeur y Amador desarrollan sus propuestas a partir de la hermenéutica como condición ontológica, como característica esencial de la presencia del Ser en el mundo, desde la perspectiva heideggeriana, en los siguientes párrafos se ahonda en ella.

Con Heidegger la hermenéutica deja de referirse a textos o a ciencias interpretativas y se concentra en la existencia del Ser, un Ser que es temporalidad, por eso el tiempo es fundamental para la comprensión del Ser. El Ser no es presencia permanente, sino devenir, acontecer; asumir su temporalidad le permite apropiarse de su destino (Grondin, 2008). Para Heidegger la condición de ser confrontados, de preguntar-responder, es condición ontológica y modo de ser hermenéutico, por lo tanto la hermenéutica es un modo de ser en la existencia, pues “lo propio de nuestro ser es preguntarnos por el ser de cualquier otro ente” (Amador, 2017, p. 8).

En *Ser y Tiempo*, Heidegger asegura que la capacidad de comprensión abre la posibilidad de ser de cada *Dasein*. Asimismo introduce el lenguaje como un concepto fundamental, pues la comprensión se da por medio de preguntar-responder acerca del ser de los entes. Así, aunado al giro ontológico (a la pregunta por el ser), se añade el giro lingüístico (Amador, 2020). De igual forma, Heidegger advierte que la interpretación implica que el intérprete proyecte sus categorías de pensamiento sobre lo interpretado, de manera que la objetividad es poco plausible, pues el ser humano se encuentra situado desde una especificidad, y está orientado por un pensamiento particular a su temporalidad, que responde a una construcción social e histórica (Amador, 2020). A

partir de esta idea de temporalidad, Husserl⁴, en una crítica a *Ser y Tiempo* (1927) de Heidegger, desarrolla en 1936 el concepto *Lebenswelt* (traducido del alemán como “mundo de la vida”) que implica la idea de que vivimos en un mundo pre-dado.

Para Heidegger, la hermenéutica está temporalmente antes del Ser y antes de toda ciencia: “en tanto que es la experiencia de la facticidad, sobre la cual se levanta todo preguntar-responder, la experiencia hermenéutica constituye el suelo previo de toda ciencia, la *antecede*” (*ídem*, p. 17). Para Heidegger, la facticidad constituye el carácter de ser de la existencia humana, la hermenéutica de la facticidad tendrá por labor superar el olvido del ser:

(...) la hermenéutica ya nada tiene que ver con los textos, ¡tiene que ver con la existencia individual de cada uno para contribuir a despertarla a sí misma! Puesto que se trata de zarandear la existencia, es necesario “destruir” las interpretaciones que la mantienen en un estado de adormecimiento: “La hermenéutica, pues, cumple, su tarea sólo a través de la destrucción”.
(Grondin, 2008, p. 49).

Gadamer⁵ continúa el estudio de la hermenéutica desde la misma perspectiva existencial que Heidegger, para quien la comprensión es más que un modo de comportarse del ente, es el modo de ser del *Dasein* (Gadamer, 2003). Para Gadamer, quien pretende comprender proyecta siempre un sentido, pero debe estar abierto a la opinión del otro: “el que quiere comprender un texto tiene que estar en principio dispuesto a dejarse decir algo por él” (*ídem*, p. 335). Ser receptivo no implica ni neutralidad ni autocancelación, sino una “matizada incorporación de las propias opiniones previas y prejuicios” (*ídem*, p. 336). Un prejuicio no significa un juicio falso, sino un juicio que se forma antes de poder realizar una validación (positiva o negativa) definitiva. Los prejuicios son algo inherente al ser: “por eso los prejuicios de un individuo son, mucho más que sus juicios, la realidad histórica de su ser” (*ídem*, p. 344).

El intérprete no es consciente de los prejuicios que le hacen posible, o le obstaculizan, comprender algo; Gadamer postula que la hermenéutica debe preguntarse cómo sucede esta distinción, para lo cual es necesario considerar la importancia que juega la distancia en el tiempo para la comprensión, pues existe una diferencia insalvable entre el intérprete y el autor dada por la distancia histórica. Esta distancia en el tiempo no es algo que deba anularse, sino reconocerse, pues no concibe una desconexión de los prejuicios del intérprete (Gadamer, 2003).

⁴Husserl nació en Moravia, hoy República Checa. Es considerado fundador de la fenomenología trascendental. La fenomenología implica atenerse a los fenómenos sin presupuestos ni prejuicios, tomar lo que se da en la intuición tal como sucede. Husserl deja de considerar al mundo como problema filosófico y se enfoca en la conciencia, la conciencia caracterizada por la intencionalidad. Entre sus textos más importantes se encuentran las *Investigaciones lógicas* (1900 y 1901) y *Fenomenología de la conciencia del tiempo inmanente* (1928), en la que desarrolla la noción de “tiempo subjetivo”. En sus últimos años, Husserl intentó superar el punto de vista de la subjetividad (propio de la filosofía cartesiana) para salir del solipsismo. La intersubjetividad que propone no se trata de demostrar que el otro existe, sino de exhibir las operaciones que funcionan para que sea posible hablar del otro, del alter ego (Cohen y Feinmann, 2008).

⁵Gadamer nació en Marburgo, Alemania. Estudió humanidades en Breslavia y posteriormente se mudó a Brisgovia, en donde estudió con Heidegger. Los textos más importantes de este autor son *Verdad y método I y II* (1960 y 1986).

Gadamer denomina “horizonte” al rango de visión que tiene el intérprete desde un punto determinado, tener un horizonte implica ver más allá de lo inmediato. No es que existan varios horizontes para Gadamer, sino que hay un desplazamiento de la conciencia histórica del intérprete hacia una situación histórica, “este desplazarse no es ni empatía de una individualidad en la otra, ni sumisión del otro bajo los propios patrones; por el contrario, significa siempre un ascenso hacia una generalidad superior, que rebasa tanto la particularidad propia como la del otro” (*idem*, p. 375). No hay como tal un horizonte del presente, u horizontes históricos, más bien la comprensión implica que estos supuestos dos horizontes estén fusionados, conlleva una tensión entre el presente y el contenido del texto, es labor del intérprete evidenciar esa tensión y desarrollarla, no tratar de ocultarla (*idem*).

En este sentido, Gadamer se contrapone a la idea de Dilthey y de Schleiermacher, quienes postulan que la incidencia del presente en la interpretación de una obra pone en riesgo la objetividad. Por otro lado, la importancia de la historicidad y la temporalidad fueron retomadas por Ricoeur, quien propuso una fenomenología orientada lingüísticamente. El siguiente apartado ahonda en la hermenéutica de este autor.

1.2 La triple mimesis de Paul Ricoeur para el análisis de textos

Ricoeur⁶ llevó a cabo una filosofía reflexiva (de autoconocimiento), que consiste en una antropología filosófica desde la fenomenología hermenéutica. La fenomenología hermenéutica de Ricoeur inició por la descripción del símbolo, para lo cual retomó elementos del psicoanálisis de Freud, de la historia, de la metáfora, de la temporalidad, de la narración y de la acción humana. Su fenomenología se encuentra orientada lingüísticamente, ya que en su trabajo se puede observar una valoración de la riqueza del lenguaje y, en general, de los símbolos.

Para este autor, el tiempo se hace humano en cuanto es articulado de un modo narrativo, y la narración es significativa en la medida en que describe la experiencia temporal. A finales de los sesenta Ricoeur se mudó a Chicago, en donde impartió clases y aprendió de la filosofía analítica del lenguaje anglosajona. En esta etapa surgió su filosofía del discurso que describe primero en *La metáfora viva* (1975) y luego la filosofía de la narración en *Tiempo y Narración I: Configuración del tiempo en el relato histórico* (1983), *Tiempo y Narración II: Configuración del tiempo en el relato de ficción* (1984), y *Tiempo y Narración III: El relato narrado* (1985).

⁶ Ricoeur nació en Valence, Francia. Cuando era estudiante de filosofía uno de sus maestros lo introdujo en las ideas de Tomás de Aquino. En 1933 ingresó a la Sorbona y conoció la fenomenología de Husserl, en esa misma época se integró a los seminarios del filósofo Gabriel Marcel. A inicios de la Segunda Guerra Mundial, en 1939, Ricoeur fue obligado a enlistarse al ejército francés y, en 1940, el destacamento al que pertenecía fue capturado y mantenido prisionero. Durante los cinco años que duró su encarcelamiento se dedicó a traducir un libro de Husserl al tiempo que padecía situaciones inhumanas. A partir de la interacción entre sus compañeros prisioneros y los carceleros Ricoeur gestó su libro *Lo voluntario y lo involuntario* (1950), que aborda la inhumanidad inserta en la humanidad, desde la fenomenología.

En un primer momento Ricoeur se dedicó al análisis de la metáfora, después se concentró en la narración en general (y en los textos literarios en particular). Trató de comprender a qué refiere el lenguaje (oral y escrito), y determinó que la función de este es expresar la realidad. Ricoeur considera que un texto es autónomo, es decir, es como si el autor ya estuviera muerto pues ya no está ahí, sólo está su obra para “dialogar”, esta tiene su propio mundo y libera un sentido particular. Por otro lado, el lector tiene su propio mundo, desde el cual se encuentra con el texto.

Ricoeur considera que la filosofía tiene que fijar su atención en la historicidad implícita en una narración, en la relación entre el lenguaje y la realidad, entre el signo y la cosa, algo que la lingüística estructural (fundada por Ferdinand de Saussure) deja fuera. Ricoeur se opone a que la lingüística estructural convierta el lenguaje en algo homogéneo y bien delimitado para ser objeto de estudio de una ciencia empírica. El precio que deben pagar los estructuralistas a cambio de esto es que el lenguaje quede desvinculado del ser. Mientras que Saussure emplea el término “habla” (que resulta de extraer la lengua del lenguaje), Ricoeur (al igual que Emile Benveniste), prefiere el término “discurso” (Ricoeur, 1999).

Una de las razones por las que Ricoeur está en desacuerdo con la postura estructuralista, es que considera al lenguaje como una mediación triple, no como un objeto. El lenguaje media entre una persona y el mundo, entre una persona y otra, y finalmente entre una persona y sí misma. Así, para Ricoeur el lenguaje es la intención de decir algo a alguien, o también la intención de alguien que se da un significado a sí mismo en su propio discurso. Ricoeur también critica la semiótica, pues considera que no se interesa por la relación del signo con las cosas denotadas, ni por la relación entre signo y lengua (*idem*).

Para Ricoeur el discurso consiste en la mediación entre el orden de los signos y el de las cosas (*idem*). Un elemento fundamental del discurso es que está dirigido a alguien, es decir el significado de una experiencia es transferida de una esfera de vida a otra; la experiencia tal como es experimentada (valga la redundancia) no se puede transferir, por lo tanto sigue siendo privada, es el significado de una experiencia privada lo que se hace público por medio del discurso. (Ricoeur, 2006). Cuando el discurso es escrito, la intención del autor y el sentido del texto dejan de coincidir: “lo que el texto significa ahora importa más que lo que el autor quiso decir cuando lo escribió” (*idem*, p. 43). El texto posee autonomía semántica y esto permite que los lectores potenciales sean variados, y así de variadas serán las interpretaciones. La hermenéutica comienza donde termina el diálogo (*idem*).

La interpretación consiste en extraer y exponer el “mundo del texto” referenciado en una obra (Ricoeur, 1999, p. 54). Lo primero a comprender en un discurso, o texto, es el mundo de la obra por encima de la persona que lo creó. El discurso, o el texto, constituyen una mediación a través de la cual el ser se comprende a sí mismo (Ricoeur, 1999). Para Ricoeur la interpretación no es la dialéctica entre la explicación (que implica desplegar proposiciones y sentidos) y la comprensión (que conlleva entender o asumir sentidos parciales), sino un caso particular de

comprensión que se aplica a expresiones escritas (*idem*). Comprender implica generar conjeturas sobre el sentido del texto porque se desconoce la intención original del autor: “el texto como un todo, y como una totalidad singular, se puede comparar con un objeto que puede ser visto desde distintos lados, pero nunca desde todos los lados a la vez” (*idem*, pp. 87 y 89).

De acuerdo con Ricoeur lo que ha de entender y apropiarse el intérprete de un texto no es la intención del autor, ni la situación histórica del autor y los lectores originales, ni las expectativas de estos lectores originales, sino el sentido del texto mismo. Entender no consiste en coincidir con la vida interior del autor, si acaso se coincide en algo es en la forma posible de mirar las cosas:

(...) la apropiación no tiene nada que ver con cualquier tipo de apelación de persona a persona. Más bien es algo cercano a lo que Hans-Georg Gadamer llama una fusión de horizontes (*Horizonverschmelzung*): el horizonte del mundo del lector se fusiona con el horizonte del mundo del escritor. Y la idealidad del texto es el eslabón mediador en este proceso de fusión de horizontes. (*idem*, pp. 104 y 105).

Ricoeur considera que la interpretación es un proceso por medio del cual la revelación de nuevos modos de ser da al ente una nueva capacidad de conocerse a sí mismo (Ricoeur, 2006). Por otro lado, la condición ontológica del ser humano es vivir en el tiempo. Los seres humanos nos hacemos conscientes de la temporalidad por medio de la discursividad, de la narración; es través de esta que tenemos consciencia del tiempo (esta idea de la temporalidad es retomada de Heidegger para quien el Ser es tiempo). La condición de existencia del ser en la narración fue abordada por Ricoeur en su obra *Tiempo y Narración I*:

(...) entre la actividad de narrar una historia y el carácter temporal de la existencia humana existe una correlación que no es puramente accidental, sino que presenta la forma de necesidad transcultural. Con otras palabras, el tiempo se hace tiempo humano en la medida en que se articula en un modo narrativo, y la narración alcanza su plena significación cuando se convierte en una condición de la existencia temporal. (Ricoeur, 2004, p. 113)

Para Ricoeur una narración, o un texto, consiste en una representación (y no una reproducción) de la realidad. Ricoeur habla de mimesis al referir que cada obra retoma ciertos elementos de la realidad pero no es una copia fiel, ya que en una obra se crea un nuevo sentido. Para poder comprender el sentido que el termino mimesis cobra en Ricoeur, en los siguientes párrafos se precisan diversas acepciones que este concepto ha tenido a lo largo del tiempo.

El historiador y filósofo del arte y la estética Wladislaw Tatarkiewicz, asevera que la etimología de la palabra μίμησις (mimesis) es difícil de rastrear, porque su uso se identifica posterior a la época de Homero y Hesíodo. Sin embargo, el primer significado (corroborado más tarde por Platón y Estrabón) remite a la representación de los actos de culto (que incluían música, baile y canto) realizados por un sacerdote. Posteriormente, la mimesis se refería al acto de

reproducir la realidad en la escultura y las artes teatrales (exclusivamente la danza, la mímica y la música). En este sentido, mimesis implicaba expresar la realidad interior, más que reproducir la exterior (Tatarkiewicz, 2001). Hasta aquí, el término estaba ligado al culto religioso, pues en este período clásico griego las actividades artísticas se llevaban a cabo con fines rituales.

En el siglo V a.n.e. el término mimesis pasó al ámbito de la filosofía para referir la reproducción del mundo externo. En este mismo período, Sócrates (y más tarde Platón y Aristóteles) empleó el término para aludir al acto de copiar la apariencia de las cosas (con esto se extendió su uso a otras artes como la pintura, la escultura e incluso la poesía). Platón empleaba el término mimesis en dos sentidos: a veces en el contexto de la música y la danza (su sentido inicial), y otras ocasiones en el ámbito de la pintura y la escultura (como hacía Sócrates). Por otro lado, Aristóteles, en un principio empleaba mimesis para señalar las actividades humanas, pero poco a poco comenzó a referir la imitación de la naturaleza (*idem*).

En resumen, el período clásico del siglo IV a. de J. C. Utilizó cuatro conceptos diferentes de imitación: el concepto ritualista (expresión), el concepto de Demócrito (imitación de los procesos naturales), el concepto platónico (copia de la realidad), y el aristotélico (la libre creación de una obra de arte basada en los elementos de la naturaleza).

(Tatarkiewicz, 2001, p. 303)

Siglos después, en el Renacimiento el concepto de imitación ganó auge en la teoría del arte cuando, a mediados del siglo XVI, se aceptó la *Poética* de Aristóteles; aunque su acepción variaba entre la versión platónica y la aristotélica. Durante esta etapa la imitación se refería idealmente a los elementos perfectos de la realidad. En el período Barroco un grupo de personas sostenía que la imitación era una labor compleja para el arte porque nunca se podría igualar al modelo; mientras que otros pensaban que era una tarea pasiva e insignificante. Poco a poco el término imitación fue sustituido por *inventio*. Hacia finales del siglo XVIII el objeto de imitación no sólo fue la naturaleza, sino también los imitadores del período antiguo, asimismo la mimesis era una característica de todas las artes y ya no sólo de las miméticas. Finalmente, en la época contemporánea el término mimesis se apega al significado inicial que remite a la expresión (*idem*).

Para Aristóteles la poética, en tanto labor mimética, se diferencia de otras artes principalmente por tres elementos: los medios para imitar, los objetos imitados y el modo de imitar (Aristóteles, 2014). También distingue tres maneras diferentes de imitar “Puesto que el poeta es imitador, lo mismo que un pintor o cualquier otro imaginero, necesariamente imitará siempre de una de las tres maneras posibles; pues o bien representará las cosas como eran o son, o bien como se dice o se cree que son, o bien como deben ser” (Aristóteles, 2014, p. 437). Cabe aclarar que para Aristóteles un poeta no se refiere a una persona que compone versos, sino a quien imita por medio del lenguaje.

Ricoeur emplea el término mimesis en un sentido más apegado a la versión aristotélica y añade otros elementos:

La trama, dice Aristóteles, es la *mimesis* de una acción. Distinguiré, en su momento, tres sentidos, al menos, del término *mimesis*: reenvío a la pre-comprensión familiar que tenemos del orden de la acción, acceso al reino de la ficción y nueva configuración mediante la ficción del orden precomprendido de la acción (...) la función mimética de las narraciones se manifiesta preferentemente en el campo de la acción y de sus valores temporales. (Ricoeur, 2004, p. 33).

Para Ricoeur el tiempo se hace humano en cuanto se narra. Y esta narración cobra significado al momento de ser una condición de existencia en el tiempo (*idem*). La relación entre el tiempo y la narración se hace explícita a partir de la construcción de la trama en el proceso de los tres modos miméticos: “seguimos, pues, el paso de un tiempo prefigurado a otro refigurado por la mediación de uno configurado” (Ricoeur, 2004, p. 115). La triple mimesis consta de tres fases, la primera se concentra en el autor, la segunda en la obra, y la tercera en el lector:

- Mimesis I consiste en una primera comprensión, hace referencia a las experiencias previas a lo que está plasmado en la imagen, se trata de conocer el mundo del autor. “La mimesis uno es todo lo previo a la narración, o en el caso de una imagen a todo el contenido visual que la integra, hace referencia al mundo en que se desarrolla la existencia o visión de mundo que permite surgir a la obra” (Aguilar, 2014, p. 79).
- Mimesis II estructura lo representado, consiste en acercarse al mundo de la obra y se la analiza estructuralmente.
- Mimesis III consiste en una reconfiguración del mundo de la obra a partir del mundo del espectador.

En la siguiente página se presenta un cuadro que sintetiza las ideas anteriores para poder abordar, en los siguientes sub-apartados, las consideraciones que tiene Ricoeur para cada una de estas tres etapas de mimesis.

H E R M E N É U T I C A		
Mimesis I	Mimesis II	Mimesis III
Pre-comprensión Presupuestos teóricos	Acceso al reino de la ficción	Concepción posterior a la lectura
Mundo del autor	Mundo de la obra	Refiguración por parte del espectador
Análisis histórico-cultural	Análisis estructural del texto	Interpretación de las interpretaciones

En los siguientes tres apartados se ahonda en la descripción de cada una de estas fases.

1.2.1 Mimesis I

Aborda todo cuanto existe previo a la narración, hace referencia al mundo en el cual surge la obra, es decir, el mundo del autor. Implica una pre-comprensión del mundo de la acción, de su estructura, de los recursos simbólicos en ella y de su carácter temporal (Ricoeur, 2004). La pre-comprensión se refiere a la manera en que intérprete y autor comprenden la semántica de la acción. Esta etapa también refiere a los presupuestos teóricos, al bagaje necesario. Cuando el lector entiende un texto es gracias a que reconoce su contenido, reconoce las referencias y los símbolos, y los relaciona con la realidad. Este reconocimiento ocurre con ayuda de la red conceptual, esto es, los conocimientos previos del intérprete. Para abordar esta etapa es indispensable una comprensión de la narrativa y sus símbolos. Respecto al término símbolo, Ricoeur acota lo siguiente:

Entre una acepción demasiado pobre y otra demasiado rica, he optado personalmente por un uso cercano al de Cassirer en su *Philosophie des formes symboliques*, en la medida en que, para éste, las formas simbólicas son procesos culturales que articulan toda la experiencia (...) Para el antropólogo y el sociólogo, el término símbolo subraya de entrada el carácter público de la articulación signifiante (...) el simbolismo no está en la mente, no es una operación psicológica destinada a guiar la acción, sino una significación incorporada a la acción y descifrable gracias a ella por los demás actores del juego social.
(Ricoeur, 2004, p. 120).

Es decir, los símbolos son una convención social. Mimesis I resulta indispensable para lograr una comprensión previa de la obra, una comprensión que implica conocer el actuar humano,

su red simbólica y su temporalidad. Pero antes de comprender el mundo del autor, es necesario dar un paso atrás y comprender la obra, esta indagación se lleva a cabo en Mimesis II que se aborda en el siguiente apartado.

1.2.2 Mimesis II

Es el punto de partida del análisis pues está representada por la obra en sí misma. Implica, por tanto, entrar en su mundo y comprender su narrativa. En esta etapa se analizan las partes de la obra y la manera en que estas se relacionan entre sí, es decir un análisis estructural (Aguilar, 2014). Por lo anterior, esta etapa se erige como el primer paso del análisis.

Mimesis II implica una construcción de la trama, es decir una configuración a partir de elementos, una integración de los factores heterogéneos, implica tomar los acontecimientos aislados y convertirlos en una historia, darles una unidad. Es una posición mediadora entre la fase anterior, mimesis I, y la fase siguiente, mimesis II (Ricoeur, 2004). En esta etapa Ricoeur refiere el *mythos* aristotélico en tanto “disposición de los hechos” (*idem*, p. 131).

(...) nos parece que Aristóteles hizo dos cosas a la vez, si no tres. Por un lado, establece el concepto de trama en sus rasgos más formales (...) describe el género de la tragedia griega (...) este género cumple a la vez con las condiciones formales que hacen de él un *mythos*, y con las condiciones restrictivas que lo convierten en *mythos* trágico: cambio de la fortuna en infortunio, incidentes lastimosos y horribles, desgracia inmerecida, falta trágica de un carácter marcado, sin embargo, por la grandeza y exento de vicio o maldad, etc. Este género ha dominado en gran medida el desarrollo posterior de la literatura dramática en Occidente.
(Ricoeur, 2004, p. 137).

1.2.3 Mimesis III

Esta fase implica una reconfiguración que lleva a cabo el lector, espectador, o intérprete, del mundo del autor y del mundo de la obra. Es decir, se trata del punto de convergencia de los mundos: el del autor, el de la obra y el del intérprete.

El círculo hermenéutico de la narración y del tiempo renace así sin cesar del círculo que forman los estadios de la *mimesis*. Ha llegado el momento de centrar nuestra reflexión en la transición entre *mimesis* II y *mimesis* III, operada por el acto de lectura (...) el acto de leer acompaña la configuración de la narración y actualiza su capacidad para ser seguida. Seguir una historia es actualizarla en su lectura. La construcción de la trama sólo puede describirse como un acto de juicio y de la imaginación creadora en cuanto que este acto es obra conjunta del texto y de su lector.
(Ricoeur, 2004, p. 147).

Mimesis III consiste en una refiguración porque se refiere al proceso de lectura de la obra, y su aprehensión no es objetiva, pues en ella se encuentra implícito el bagaje cultural, conceptual y empírico del intérprete, “el acto de lectura se convierte así en el agente que une *mimesis* III a *mimesis* II (...) el texto sólo se hace obra en la interacción de texto y receptor” (*idem*, p. 148).

La interpretación varía de acuerdo a la persona que la realice y sus preconcepciones, no va a haber interpretaciones iguales ni estas serán exhaustivas, las posibilidades de interpretaciones son casi interminables, pues dependen de la variedad de intérpretes frente a la obra. Para Ricoeur, lo que el lector aprehende de la obra no es únicamente su sentido, también su referencia, es decir el mundo y la temporalidad de las que surge. Esto se relaciona con la “fusión de horizontes” de Gadamer:

La narración re-significa lo que ya se ha pre-significado en el plano del obrar humano. Recordemos que la precomprensión del mundo de la acción, en el régimen de mimesis I, se caracteriza por el dominio de la red de intersignificaciones constitutivas de la semántica de la acción, por la familiaridad con las mediaciones simbólicas y con los recursos *prenarrativos* del obrar humano. El ser-en-el-mundo es, según la narratividad, un ser en el mundo marcado ya por la práctica del lenguaje correspondiente a esta precomprensión.

(Ricoeur, 2004, p. 154).

Aunque el análisis puede resultar circular, este no consiste en un círculo vicioso, sino en una espiral sin fin que pasa varias veces por el mismo punto, pero a una altura diferente (*idem*, p. 141), el significado no se agota, se semantiza una y otra vez. La triple mimesis es de gran ayuda para analizar una representación, que en el caso de esta investigación consiste en un audiovisual, porque toma en consideración los tres momentos más importantes: la configuración de la obra (representación) en sí misma, el contexto del que surgió y la interpretación del espectador.

Si se analiza adecuadamente el audiovisual considerando los tres estadios mencionados se estarán considerando los elementos necesarios para su interpretación. Sin embargo, en tanto que la propuesta de Ricoeur se centra principalmente en el análisis de textos literarios, se requiere un acercamiento visual; por ello a la triple mimesis se suma la propuesta de análisis hermenéutico de la imagen de Amador (2017), que se describe en la siguiente sección.

1.3 Las tres dimensiones de Julio Amador para el análisis de la imagen

Aunque la triple mimesis de Ricoeur constituye una propuesta interesante de análisis hermenéutico, resulta indispensable el análisis visual. Amador (2017)⁷ propone, también desde la hermenéutica ontológica, un análisis de la imagen en tres dimensiones: formal, simbólica y narrativa. La dimensión formal analiza los elementos básicos que conforman una imagen: forma, color, luminosidad y cualidades materiales; estos cuatro elementos integran una composición. Por

⁷ En *El significado de la obra de arte. Conceptos básicos para la interpretación de las artes visuales*, Julio Amador Bech realiza una propuesta metodológica para analizar las artes visuales. En principio se inspira en el análisis que el historiador y teórico del arte Erwin Panofsky (*El significado en las artes visuales*) aplica a las pinturas del renacimiento, pero profundiza y ve más allá que Panofsky, ya que este último no contempla la dimensión formal. Por otro lado, para hablar de la dimensión formal, Amador toma como base la propuesta de Vassily Kandinsky (*Punto y línea sobre el plano*). La originalidad y la audacia en la propuesta de Amador radica en la tematización de los diferentes aspectos de la imagen en tres dimensiones concretas: formal, simbólica y narrativa; y en el énfasis que hace respecto a la necesidad de un estudio histórico transversal a estos tres niveles.

otro lado, la dimensión simbólica se aboca a estudiar la imagen imbricada en un contexto simbólico; es decir, en esta etapa se analiza la carga simbólica inserta en los elementos visuales presentes en la obra, cada uno de los cuales posee una connotación particular, propia al contexto de su creación. Finalmente, la dimensión narrativa analiza la historia que relata la imagen, teniendo como base su composición formal y simbólica. A continuación se detallan los elementos que componen cada etapa.

1.3.1 La dimensión formal

Amador considera que la forma transmite un significado (Amador, 2017). Echa mano de la psicología de la Gestalt para argumentar que la percepción y la significación, es decir la interpretación, ocurren de manera simultánea⁸. El análisis formal apela a lo más básico de la imagen, hace referencia a sus elementos irreductibles. Este análisis se limita a explicar la estructura del conjunto, refiere únicamente a la función visual de cada elemento: “se trata de relacionar las cosas y los seres con su *representación* gráfica, pictórica, fotográfica o aquellas producidas por cualquier otra técnica” (*idem*, p. 40). La identificación de elementos básicos no excluye las significaciones insertas en ellas y que resultan de la cultura específica en que surgen, y en la cual se formaron tanto el creador de las imágenes como el observador:

Para Hans-Georg Gadamer, el reconocimiento de esta tensión básica entre la tradición a la que pertenecen el autor y la obra que estudiamos, y la tradición del presente histórico, a partir de la cual nos interpretamos, es el punto de partida de la hermenéutica, de la historicidad de la comprensión. Gadamer llama tradición a ese horizonte, y muestra cómo la tradición “forma parte en verdad de la historia misma. De ahí que el estudio de las obras de arte (...) implica la constante confrontación de horizontes culturales, hasta llegar a una fusión de los mismos, en un proceso de investigación y comprensión adecuado y sistemático.

(*idem*, p. 40).

Al igual que Ricoeur (quien considera al texto como representación), Amador ve en la imagen también una representación y no una mera imitación. Para definir forma, Amador retoma definiciones de teóricos como Tatarkiewicz, Heidegger, Kandinsky, Heinrich Wölfflin, Aristóteles y Kant. A partir de las definiciones de estos autores llega a la conclusión de que forma es una disposición de las partes, una distribución y ordenamiento en un espacio, aquello que posee un contorno especial. Asimismo, la forma es la apariencia externa de las cosas, la configuración visual exterior, es el límite o contorno de un objeto. También constituye una figura definida e identificable que puede tener un significado y una función simbólica. Para Kandinsky los elementos básicos que constituyen la forma son el punto, la línea y el plano (Amador, 2017).

Por otro lado, el color “tiene su origen en las reacciones de nuestro sistema visual a la longitud de onda de las luces producidas o reflejadas por las cosas” (*idem*, p. 65). Jacques Aumont

⁸ Notas de clase del Seminario de Introducción a la hermenéutica: el discurso y la imagen, con el Dr. Julio Amador Bech, del 11 de mayo de 2017.

identifica tres aspectos relativos al color: a) el colorido, que depende de la longitud de onda de la luz reflejada por un objeto y percibida por el ojo, lo cual da como resultado la percepción de una clase de color como el amarillo o el azul; b) la saturación, que remite a la pureza e intensidad del color, entre menos mezclado un color, será más saturado; y c) la luminosidad, que depende de la cantidad de luz que posee el color, se traduce como el tono. Los colores se pueden dividir en diferentes clases, dependiendo de su función, por ejemplo se pueden distinguir por su temperatura (cálidos, fríos o templados), o bien por su posición en el plano (avanzantes, medios o retrocedientes). Con base en lo anterior es posible observar que el color conlleva importantes posibilidades expresivas, lo que resulta fundamental para aportar sentido a una imagen, y también para generar efectos físicos o psicológicos en el espectador (*idem*).

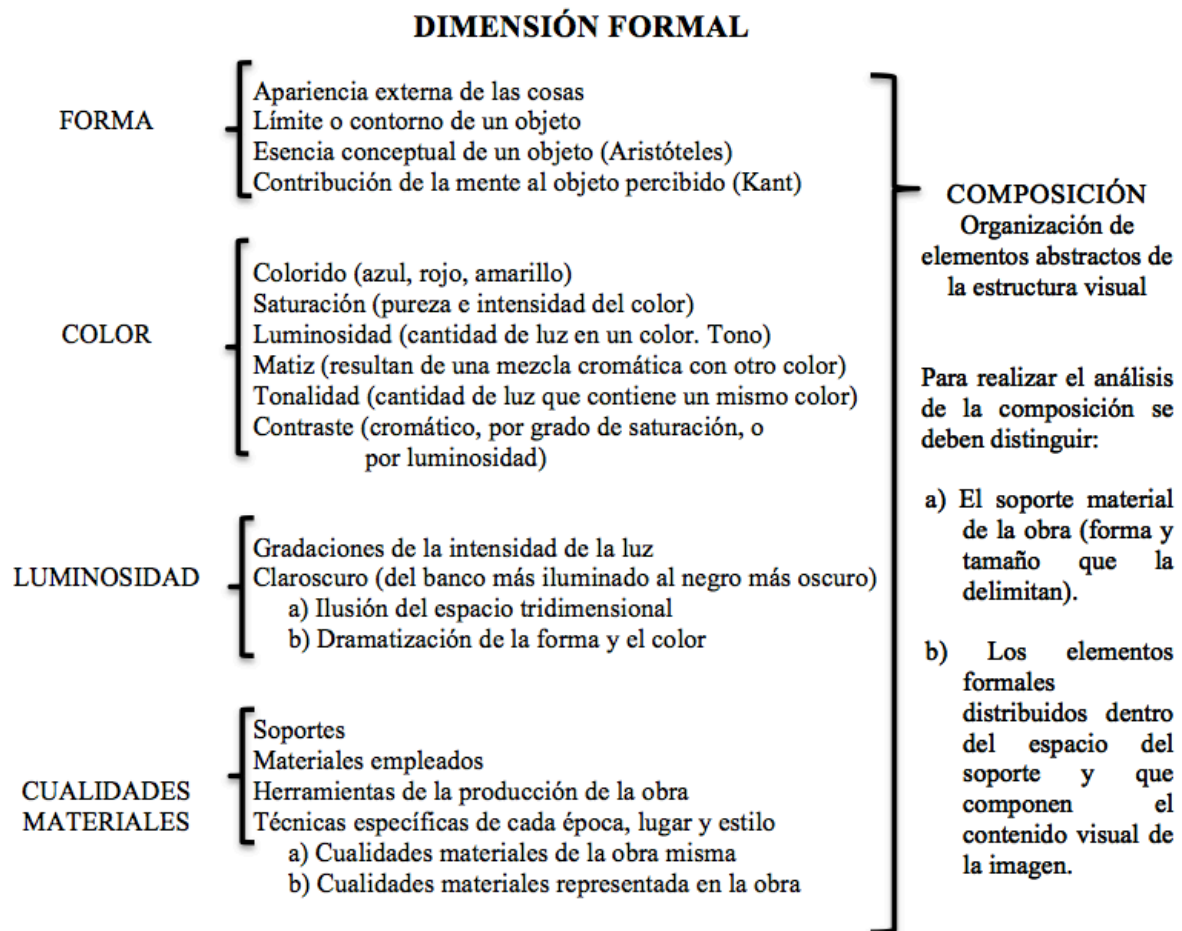
El tercer elemento que constituye la dimensión formal es la luminosidad o tono. Esta refiere a la intensidad de la luz en una imagen, abarca desde el blanco más iluminado hasta el negro más oscuro, pasando por los grises, lo cual remite al claroscuro como base para matizar formas y colores. De manera que las tonalidades, los grados de contraste lumínico, jugarán principalmente dos funciones: a) crear la ilusión del espacio tridimensional; y b) auxiliar en la dramatización de la forma y el color (*idem*).

Las cualidades materiales constituyen el cuarto elemento, estas dependen de cuatro factores: 1) los soportes sobre los cuales se realizan, 2) los materiales empleados en su elaboración, 3) las herramientas utilizadas en la producción de la obra, y 4) las técnicas específicas características de cada época, lugar, estilo y modo artístico. Existen dos elementos de las cualidades materiales que se pueden analizar: a) las cualidades materiales de la obra en sí misma; y b) las cualidades materiales representadas dentro de la obra (*idem*).

Finalmente, los elementos anteriores articulados en conjunto configuran una unidad que se denomina composición, cuya función es generar la sensación de equilibrio y armonía. Cada uno de los elementos de la dimensión formal se puede estudiar desde el punto de vista de su función, entre las cuales están: a) la función compositiva, que se refiere a la manera en que los elementos se configuran como parte de un orden visual estructurado de una manera estética; b) la función expresiva, en la que se manifiesta el contenido de la obra de manera elocuente y eficaz para así generar una característica connotativa; c) y la función descriptiva, en la que se exhiben los atributos de lo representado para así lograr una característica denotativa (*idem*).

Así, por ejemplo, en el análisis de la función expresiva, si aparecen figuras humanas en la imagen, entonces es necesario considerar los gestos, las actitudes, las posturas, los movimientos y otras expresiones, pues el cuerpo es un vehículo de significación. Respecto a las figuras humanas es necesario prestar atención y analizar elementos no sólo de su expresión facial o disposición corporal, sino también su vestimenta (peinado y bisutería). Por otro lado, no sólo las figuras humanas comunican expresiones, también el ambiente, la atmósfera, la escenografía expuesta en la

imagen tiene una significación, es decir, constituye un medio de expresión⁹. A continuación se presenta un cuadro que sintetiza los elementos mencionados en este apartado:



Una vez que los elementos formales han sido identificados y se ha comprendido la relación que existe entre ellos, se abordará la siguiente dimensión que refiere a los símbolos.

1.3.2 La dimensión simbólica

Para abordar la dimensión simbólica Amador se basa primeramente en Gilbert Durand (1971), quien considera que las personas representamos el mundo en nuestra conciencia de dos formas posibles: directa o indirectamente; la primera ocurre cuando la cosa esta presente como percepción o sensación; la indirecta cuando la cosa no está presente a la sensibilidad y se representa por medio de una imagen (por ejemplo los recuerdos o la imaginación). La distinción entre el pensamiento directo e indirecto no es contundente, la conciencia tiene distintas gradaciones de la imagen;

⁹ Notas de clase del Seminario de Introducción a la hermenéutica: el discurso y la imagen con el Dr. Julio Amador Bech, del 11 de mayo de 2017.

cuando una imagen se encuentra alejada de la percepción inmediata consiste en un “signo eternamente separado del significado” que constituye el símbolo (Durand, 1971, pp. 9 y 10). Amador considera al signo común un caso de representación directa, pues designa seres y cosas que se presentan empíricamente. Por otro lado, el símbolo constituye una representación indirecta porque refiere abstracciones imposibles de mostrar físicamente (Amador, 2020).

El signo lingüístico remite a un significado que puede estar presente o ser verificado empíricamente, es arbitrario (por lo mismo, su significante es infinito), carece de motivación, es adecuado por su concreción (refiere una cosa o ser identificable), y su significado es limitado porque sólo refiere a cierta cosa o ser (Durand, 1971). Amador propone la categoría de signo visual que re-presenta seres o cosas, reales o imaginarios, por medio de abstracciones que se forman a partir de la selección y organización de algunas de sus propiedades perceptuales, esto lo hace en parte motivado y también arbitrario, porque reproduce ciertas características estructurales del referente. Para entender su significado es necesario familiarizarse con sus códigos o cánones estilísticos. Los significados del signo visual no son universales, pues consisten en productos culturales que requieren ser aprendidos socialmente. Amador enfatiza que el signo visual no debe analizarse con base en categorías lingüísticas¹⁰.

Por otro lado, una alegoría es un signo complejo que implica la traducción de una idea difícil de expresar, pierde su arbitrariedad teórica cuando remite a abstracciones (particularmente cuando se refiere a cualidades espirituales o morales). Siempre contiene elementos que aluden a su significado (como la venda, la balanza y la espada que porta la Justicia). Durand distingue entre: 1) signos arbitrarios puramente indicativos (remiten a una realidad significada que, a pesar de estar ausente, es posible presentar); y 2) signos alegóricos (refieren a una realidad significada difícil de presentar). La imaginación simbólica se presenta cuando el significado no se puede representar y el signo refiere sólo un sentido y no una cosa sensible (Durand, 1971).

Los símbolos consisten en representaciones que hacen aparecer un sentido secreto, son la epifanía de un misterio y la mejor representación de lo desconocido. Su significante es concreto y motivado porque es un ser o cosa visible o representable mediante una imagen, un gesto o una palabra; es inadecuado porque su significado es inagotable (ya que continuamente se le atribuyen nuevos significados). Su significante y su significado son abiertos, el primero porque nunca se agota, y el segundo porque se manifiesta en infinidad de soportes (Durand, 1971; Amador, 2020). Amador y Durand consideran que la imagen es la primera, y mínima, unidad de expresión del pensamiento humano, la imagen mental constituye una imagen de primer orden que puede codificarse y comunicarse mediante imágenes de segundo orden: signos, alegorías o símbolos (Amador, 2020). En la siguiente página se presenta un cuadro que resume lo anterior.

¹⁰ Notas de clase Seminario de Introducción a la hermenéutica: la hermenéutica y la interpretación de la cultura, con el Dr. Julio Amador Bech, del 14 de febrero de 2019.

	SIGNO LINGÜÍSTICO	SIGNO VISUAL	ALEGORÍA	SÍMBOLO
¿Qué es?	Remite a un significado que puede estar presente o ser verificado empíricamente.	Re-presenta seres o cosas, reales o imaginarios, mediante abstracciones, selección y organización de algunas de sus propiedades perceptuales.	Traducción concreta de una idea difícil de captar o expresar en forma simple.	Representación que hace aparecer un sentido secreto; es la epifanía de un misterio y la mejor representación de lo desconocido.
Significante	Arbitrario, carente de motivación, infinito, adecuado por su concreción (pues refiere a una cosa o ser perfectamente identificable).	A la vez motivado y arbitrario, reproduce ciertas características de su referente.	Parcialmente adecuado Contiene elementos concretos, o ejemplares, del significado (venda, balanza y espada que porta la Justicia). Pierde su arbitrariedad teórica cuando remite a abstracciones (como cualidades morales o espirituales).	Concreto y motivado porque es un ser, o cosa, concreto y visible o representable en imagen, gesto o palabra. Inadecuado porque su significado es inagotable (continuamente se le atribuyen nuevos significados). Abierto porque se manifiesta en infinidad de soportes.
Significado	Significado presente, o que puede verificarse empíricamente. Es limitado porque se refiere sólo a cierta cosa o ser.	Su decodificación implica familiaridad con sus códigos o cánones estilísticos, de lo contrario será indescifrable. Significados no universales, porque son productos culturales que requieren ser aprendidos socialmente.	Difícilmente es captado directamente. Por lo general es un concepto complejo o una idea abstracta.	Significado inagotable y abierto. El símbolo (figura precisa, claramente definida, identificable y reproducible) supone una gran condensación de significado.

(Durand, 1971, pp. 10-15 y 22-23; Amador, 2020, pp. 166-172).

Para continuar con la descripción de la dimensión del símbolo, Amador también se apoya en Carl Gustav Jung, Mircea Eliade, Karl Kerényi, Henri Corbin, Gershom Scholem y Joseph Campbell¹¹. El símbolo constituye una figura precisa, bien definida, identificable y reproducible que condensa significados, ya que un mismo símbolo refiere a una variedad de dimensiones de la realidad. Un símbolo debe poder ser visto, reconocido, recordado y reproducido. El símbolo pone de manifiesto lo general, lo común, constituye una idea pura y esclarecedora; también permite unir y homologar lo que está aislado, aportando claridad y orden (Amador, 2017).

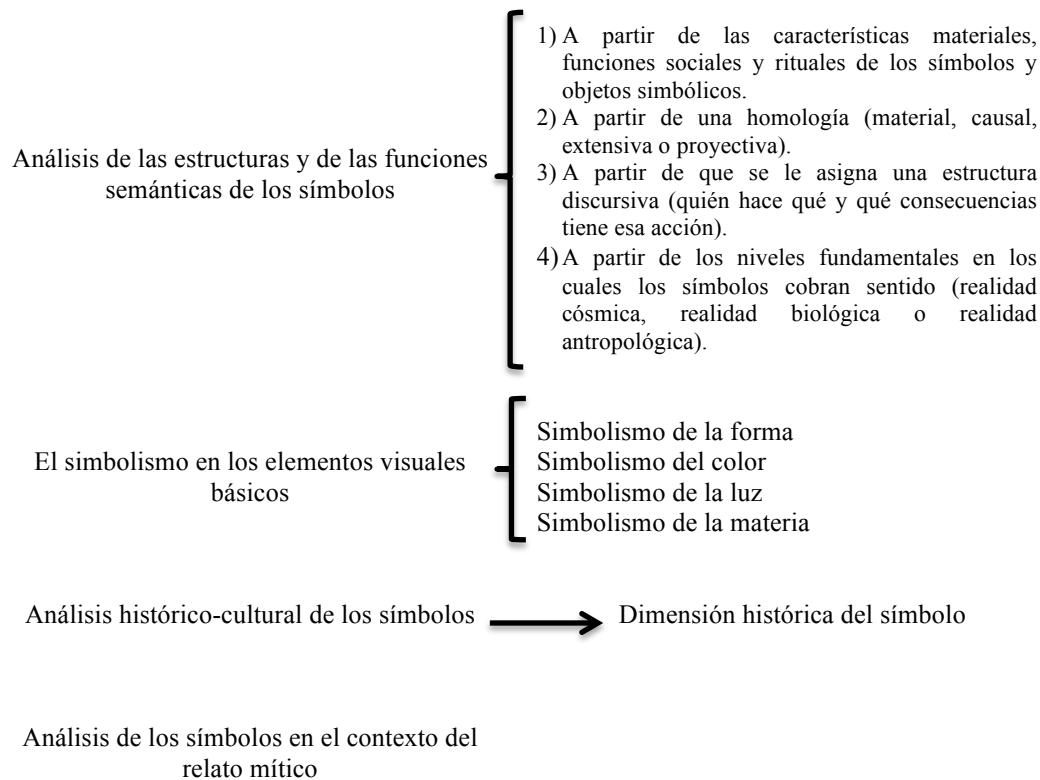
El símbolo es una elaboración cultural aprendida dentro de un contexto social, constituye una manifestación consciente del arquetipo. El arquetipo es resultado de la herencia evolutiva del ser humano, subyace en nuestro funcionamiento neurobiológico. Amador retoma ideas de Jung para ahondar en el arquetipo, para este último el arquetipo encuentra su origen en aquellos motivos que se repiten constantemente en mitos y cuentos universales, pero que también aparecen frecuentemente en las fantasías, imaginación, delirios y sueños de personas que viven en la época contemporánea, pertenecientes a la cultura occidental moderna y a otras tradiciones (*idem*).

Otro concepto importante en esta dimensión es la de imágenes arquetípicas, que refieren básicamente al medio por el cual se manifiesta el arquetipo. Las imágenes arquetípicas toman forma y se concretan en el mito (*idem*). En este punto es preciso mencionar una vez más a Durand (2012), pues expone que el mito subyace a la historia, a la literatura y al arte; es decir, en el sustrato más profundo de estas es posible encontrar referencias a los mitos. Este autor incluso considera que las instituciones sociales y políticas se fundamentan, y justifican, en mitos de origen. Para Durand el mito refiere expresiones culturales concretas de los arquetipos universales.

Finalmente, Amador propone que el estudio de los símbolos en la imagen se realiza a partir de cuatro aspectos: 1) análisis de las estructuras y funciones semánticas de los símbolos; 2) análisis histórico-cultural; 3) estudio etnográfico; y 4) análisis de los símbolos en el contexto del relato mítico. En la siguiente página se presenta un cuadro que sintetiza los elementos descritos en este apartado referente a la dimensión simbólica. Asimismo, con el cuadro se consideran completados los elementos que serán considerados para el análisis de la dimensión simbólica, así será posible ascender a la dimensión narrativa que se describe en el siguiente apartado.

¹¹ Amador elige a estos autores para abordar el tema del símbolo desde una perspectiva no estructuralista, pues considera que esta implica un reduccionismo absurdo (Amador, 2017, p. 118).

Dimensión de los símbolos visuales



1.3.3 La dimensión narrativa

Esta dimensión consiste principalmente en responder ¿qué está relatando una imagen?, ¿qué relato está contando el autor?, y ¿cómo lo está relatando? Así, para analizar la dimensión narrativa es necesario haber realizado el estudio de la dimensión de los componentes formales y de la representación, así como de la expresión simbólica. En la dimensión narrativa es preciso distinguir las acciones denotativas de las connotativas; las primeras dicen qué está ocurriendo, mientras que las segundas describen la manera en que ocurre (alegremente, dolorosamente, reticentemente, etc.). La dimensión narrativa refiere la forma en que las figuras y los motivos sirven para presentar un tema o una idea, es decir para relatar una historia en la imagen (Amador, 2017).

Una primer etapa de esta dimensión está constituida por el análisis estructural, el cual se subdivide en el análisis estructural de la narrativa visual y el análisis estructural del mito. El primero implica la identificación del tema presentado en la imagen, generalmente representado por una escena en la cual aparecen personajes determinados en una situación particular (se refiere a un lugar o escenografía, ya sea con elementos de la naturaleza u objetos propios del interior de un inmueble, asimismo hace referencia al vestuario, a la utilería y a la atmósfera visual), realizando acciones específicas (*idem*).

Respecto al análisis estructural del mito no existe una definición universal, aunque Amador retoma principalmente conceptos de Carlos García Gual¹² y Robert J. Stuart¹³. El mito se puede concebir como un relato o narración tradicional de una acción memorable y ejemplar que puede contener elementos simbólicos; asimismo, el mito expresa las relaciones que establecen los seres humanos con sí mismos, con otros seres (deidades, espíritus, seres vivos, etc.) y con su entorno. Con base en las aportaciones de los autores mencionados, quedan al descubierto las siguientes características: el mito relata sucesos, los sucesos tienen un carácter dramático y ejemplar, el mito contiene símbolos, el mito expresa patrones de relaciones, y el mito explica las relaciones de los seres humanos con otros seres, con su entorno y con el cosmos (Amador, 2017).

La segunda etapa de esta dimensión narrativa, se encuentra integrada por el análisis histórico-cultural, cuyo proceso de comprensión depende de las preconcepciones o categorías de pensamiento a partir de las cuales el espectador lleva a cabo su interpretación. En este sentido, el proceso hermenéutico debe ser consciente de esta tensión y no debe tratar de ocultarla, sino hacerla explícita y desarrollarla. Asimismo, es importante subrayar que la investigación va de la imagen a su contexto histórico, no al revés (*idem*).

Comprender lo anterior es indispensable porque de lo contrario el estudio hermenéutico se volvería prácticamente infinito y, por tanto, inasequible. Es por esta misma razón que Ricoeur remarca la trascendencia de comenzar el análisis hermenéutico por lo que él denomina mimesis II, es decir partir de la obra para después regresar a mimesis I, al contexto en el cual surgió y que se refiere al mundo del autor, pero también a las preconcepciones que existen en ese contexto específico. Para lograr lo anterior se propone llevar a cabo una indagación del tema en dos vertientes: primero un análisis del tema en su perspectiva histórica, es decir un estudio diacrónico del tema y sus interpretaciones; y segundo, un análisis sincrónico del mismo, o sea el tema de la época de la obra y del autor (*idem*).

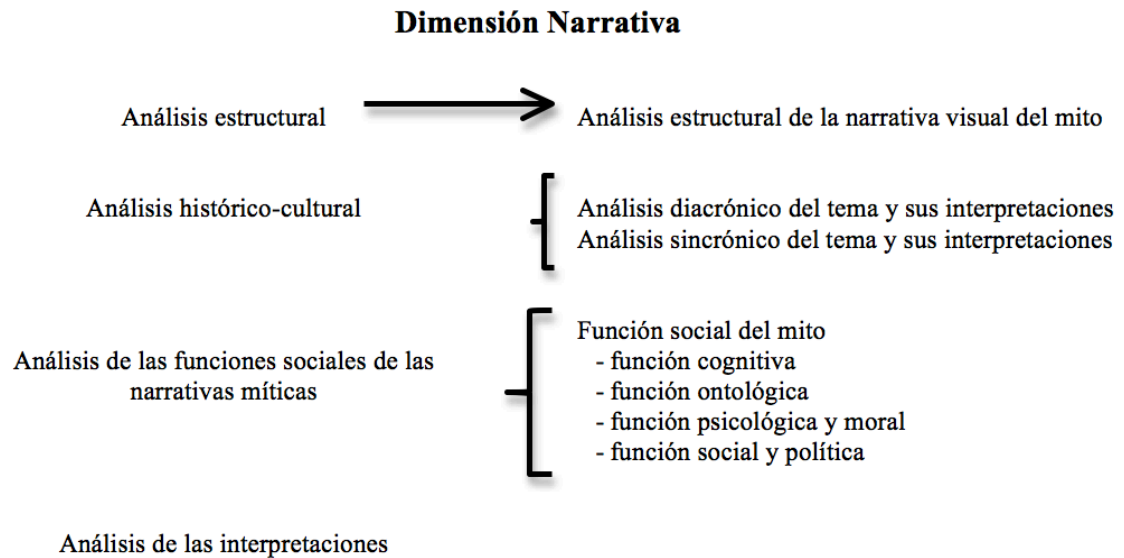
El siguiente nivel de análisis, dentro de esta dimensión narrativa, está constituido por las funciones sociales de las narrativas míticas. De acuerdo con Amador, los relatos mitológicos pueden estudiarse a partir de sus funciones, que son principalmente cuatro: cognitiva (el mito implica una explicación del origen de las cosas, su razón de existir y el porque de la vida); ontológica (el mito inserta la vida humana dentro del cosmos); psicológica y moral (los conflictos de la vida humana se vinculan a la relación psíquica del ser con otros seres, y del ser con el mundo exterior); y la socio-política, pues el mito genera cohesión al interior de la comunidad, ya que las creencias compartidas legitiman las estructuras sociales y políticas existentes¹⁴ (*idem*).

¹² Amador retoma el concepto de mito que García Gual describe en su libro *La mitología. Interpretaciones del pensamiento mítico*.

¹³ Amador hace referencia al concepto que Stuart acota en su texto *The Elements of Creation Myth*.

¹⁴ Amador retoma esta idea de dos autores, por un lado Joseph Campbell (*Las máscaras de dios*), y por el otro Jean-Pierre Sironneau (*El retorno del mito y lo imaginario sociopolítico*).

Al final, la interpretación resultante es sólo una entre varias posibles, pues el discurso y la imagen son polisémicos, toda interpretación se encuentra mediada por el discurso del intérprete. Incluso el mito está configurado por numerosas capas de versiones diversas, no hay pues un mito en estado puro, hay diversas versiones de cada mito (Amador, 2017). A continuación se presenta un cuadro que sintetiza la dimensión narrativa:



Una vez descritas someramente las tres dimensiones analíticas de Amador (2017), en la siguiente sección se abordarán los pormenores del documental de divulgación de ciencia, objeto de estudio al cual se aplicará el análisis hermenéutico compuesto por los niveles descritos en esta primera sección.

1.4. El documental de divulgación de la ciencia

Los documentales de divulgación de ciencia poseen características propias de la narrativa audiovisual, pero también del discurso divulgativo. Por lo tanto, el análisis de un documental de este tipo debe considerar no sólo elementos formales audiovisuales, sino también los componentes de la construcción divulgativa que, asimismo, implica aspectos de la filosofía de la ciencia. Esta sección está compuesta por tres apartados, en el primero se presentan: breve reseña histórica, definición, características y objetivos de la divulgación de ciencia. En el segundo se define al documental y sus modos de representación. Finalmente, el tercero da cuenta de orígenes y características de los documentales de divulgación. El objetivo de esta sección es describir las particularidades inherentes al objeto de estudio.

1.4.1. La divulgación de la ciencia: definición, características y objetivos

El comienzo de la divulgación se asocia al desarrollo de la ciencia moderna. Para algunos el primer divulgador fue Galileo Galilei, pues existen registros que aseguran que organizaba debates

públicos. Durante el siglo XVII, la *Accademia dei Lincei* (considerada la primera sociedad científica en el mundo, y a la cual perteneció Galilei) realizó importantes labores divulgativas, como la publicación de obras destacadas y cruciales para la ciencia de aquella época (Gribbin, 2005, pp.76). Entre el siglo XVII y XVIII la ciencia se divulgó a través de la prensa (como en la *Gazette de France*, fundada en 1631 por el médico Teofrasto Renaudot), y también se presentaba en la literatura, en textos de Diderot o Voltaire. La Enciclopedia francesa (*Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une société de gens de lettres*) también compiló y divulgó conocimientos científicos a un público más amplio que la aristocracia (León, 1999).

En el siglo XIX, en Europa, comenzaron a formarse gabinetes de curiosidades, cuartos donde se exhibían objetos recolectados en viajes o exploraciones. Entre ellos podían encontrarse plantas, insectos, animales muertos y otros elementos naturales que causaban asombro. En estos gabinetes se identifica el origen de los museos de historia natural, que proliferaron durante el siglo XIX. A finales del XIX y principios del XX, numerosas instituciones y sociedades científicas comenzaron a editar sus propias publicaciones. El lenguaje empleado era principalmente científico, una jerga especializada en describir fenómenos mediante conceptos ajenos a la cotidianidad (Fayard, 2004). Este lenguaje especializado era una abstracción que permitía plantear ideas en términos comunes a cualquier integrante del gremio de la ciencia, pero poco comprensible para los no expertos. En este punto, donde el lenguaje común y el científico se separaron, surgió la necesidad de hacer accesible la ciencia a los no científicos.

Aunque la especificidad del lenguaje fue imprescindible para que la ciencia se preservara y extendiera (pues gracias a este particular lenguaje los científicos compartían un mismo punto de vista que les permitía plantear hipótesis, experimentar, o proponer nuevos modelos y leyes comprensibles para el gremio), también fue en detrimento de la comprensión del resto de la sociedad (Fayard, 2004). La separación de ambos lenguajes ocasionó que muchas personas se sintieran ajenas a las temáticas científicas.

En 1945 con la explosión de la bomba atómica y el lanzamiento del primer satélite ruso, Sputnik, los gobiernos de varios países invirtieron en ciencia y educación. Asimismo, algunos de los movimientos sociales, que surgieron durante 1968, cuestionaron la función social de la ciencia y exigieron democracia tecnológica (*ídem*). Ante estos acontecimientos emergió el *science writer* (Sánchez-Mora, 2010) representado por periodistas que intentaban explicar la ciencia en términos sencillos.

A mediados de los ochenta se presentó un documento en la *Royal Society*, el informe Bodmer, que diagnosticó un déficit en el conocimiento y la actitud del público hacia la ciencia. En la misma década, ante la pérdida de autoridad y legitimidad, las instituciones científicas sufrieron recortes presupuestales por parte del gobierno. La solución se concentró en la educación, bajo el supuesto de que enriquecer el conocimiento conllevaría la mejora de la actitud del público hacia la

ciencia (Chávez, *et. al.*, 2015). Surgió la Comprensión Pública de la Ciencia (*Public Understanding of Science*), movimiento que suponía que si el público tenía una mejor comprensión de la ciencia entonces habría mayor respeto por esta y por los científicos (Sánchez-Mora, 2010). Para que las personas alcanzaran un nivel básico de comprensión en ciencia y tecnología, se propuso que ocupara mayor espacio en los medios, y que los científicos se comunicaran más con el público. La Comprensión Pública de la Ciencia promueve la *scientific literacy* (alfabetización o aculturación científica), cuya intención es integrar la ciencia en la cultura general del público; es decir, que la sociedad tenga bases y habilidades mínimas para comprender y expresar ideas relacionadas con la ciencia y sus procesos, para tomar decisiones y participar en asuntos sociopolíticos (National Research Council, 1996).

Poco tiempo después de la aparición del movimiento de Comprensión Pública de la Ciencia, en Francia surgió la Comunicación Científica Pública (*Communication Scientifique Publique*), que pugnaba por la democratización del conocimiento científico para empoderar a los ciudadanos. Este movimiento pretendía un nivel mayor de compromiso por parte del público para que la transmisión de información dejara de ser unidireccional y se convirtiera en un “diálogo de saberes” (Sánchez-Mora, 2010). El cambio del término “comprensión” por “comunicación” denotaba la intención de convertirlo en un intercambio.

La Comunicación Científica Pública se centraba más en el discurso científico y su transformación. En 1987 Pierre Fayard, principal portavoz de esta tendencia, llevó a cabo un análisis del público comprometido con los debates de la comunidad científica, y lo relacionó con una preocupación política que provenía de los movimientos de 1968. Emergió una nueva forma de comunicación pública de la ciencia que buscaba la retroalimentación (Hornig, 2010). Hacia los años noventa, la idea de diálogo entre ciencia y sociedad se intensificó y algunos investigadores, y estudiosos en comunicación de la ciencia, consideran que en esa época ocurrió un cambio del déficit al diálogo. Con base en esta breve reseña histórica, se puede aseverar que la divulgación consiste básicamente en comunicar el conocimiento científico a diversos públicos de manera accesible:

La divulgación de la ciencia es una labor multidisciplinaria, cuyo objeto es comunicar, utilizando una diversidad de medios, el conocimiento científico a diversos públicos voluntarios, recreando ese conocimiento con fidelidad y contextualizándolo para hacerlo accesible.

(Sánchez-Mora, 2010, p.24)

La primera parte de esta definición señala que no sólo periodistas, científicos, o profesores hacen divulgación, también comunicólogos, publicistas, diseñadores, literatos, dramaturgos, museógrafos, entre otros. Es gracias a esta diversidad de profesionistas que la divulgación ha ampliado sus objetivos, alcances y medios para comunicarse con el público.

La segunda parte subraya que uno de los objetivos de la divulgación es comunicar el conocimiento científico. A partir de las características de los movimientos de comprensión y comunicación pública de la ciencia (resumidos en párrafos anteriores), se pueden sumar otros objetivos como el empoderamiento de la ciudadanía, la democratización del conocimiento, el entretenimiento, el gozo por saber, el acercamiento a una parte de la cultura, la extensión de la educación formal, e incluso la promoción de carreras científicas.

La divulgación también pretende transmitir las características principales del trabajo científico, como su carácter provisional, la diversidad de métodos, la creatividad, entre otros. Conocer el modo de trabajo, las costumbres e interacciones al interior de la comunidad científica, acerca al público a un ámbito cultural que parecería ajeno. Otro de los objetivos de la divulgación es que el público piense en la ciencia como una de las varias formas que existen de conocer, o aproximarse, al entorno. En este punto se debe ser cuidadoso para no caer en el extremo de aseverar que la ciencia es capaz de resolver cualquier problema o pregunta. Es importante establecer los límites de la labor científica para hacer conciencia sobre los asuntos que le conciernen y aquellos fuera de su alcance, como aspectos éticos, morales, estéticos, entre otros.

En otra parte de la definición se menciona al público voluntario, y es que la divulgación se distingue de la enseñanza formal escolar porque el público no está obligado a aprender. La divulgación no pretende que la gente domine un tema, sino que tenga una idea general estructurada, y que comprenda aspectos alrededor de la construcción y el desarrollo del trabajo científico. La divulgación pretende brindar herramientas para comparar y confrontar el conocimiento, para reconstruir información y evaluar conclusiones (Estrada, 2002). A partir de lo anterior surge otro de los objetivos de la divulgación, que es fomentar una actitud crítica en el público, para que desarrolle una forma particular de apropiarse del conocimiento.

La última parte de la definición de Sánchez-Mora (2010) aborda un tema crucial: la recreación del conocimiento científico. A este respecto hay diversas discusiones sobre lo que implica esta. Para los científicos podría significar una simplificación de la ciencia. El reto sería en términos de la claridad contra la veracidad. Surge la interrogante sobre los problemas que se presentan en el proceso de simplificación (que pretende principalmente un lenguaje más accesible), que va más allá de retirar la terminología o los tecnicismos del lenguaje científico. Por supuesto también depende de otros elementos, como el público, el medio, los objetivos, el mensaje, las intenciones y, por supuesto, el contexto.

La divulgación no es una traducción literal, aunque sí contiene la riqueza y complejidad que implica la traducción de una obra literaria, en donde no basta conocer ambos idiomas sino también los contextos de las dos culturas (*idem*). Asimismo implica una recreación del conocimiento científico, utilizando un lenguaje comprensible y la ayuda de diversos recursos comunicativos para crear ideas accesibles. Aunque no es recomendable que contenga lenguaje

muy especializado, pensando que el público conoce teorías o conceptos que los investigadores consideran básicos, tampoco es conveniente asumir que el público es completamente ignorante.

Para alcanzar los objetivos planteados los divulgadores emplean diversas estrategias; por ejemplo, presentan al público una situación que relacione un tema con su vida cotidiana, o emplean metáforas y analogías. El trabajo divulgativo implica un reto intelectual y creativo, ya que pretende transmitir no sólo conocimiento, sino también placer y gusto por la ciencia. Como en todo proceso creativo, su práctica depende de diversos factores como el divulgador, el tema, el público, el medio, el objetivo, entre otros.

Otro de las estrategias empleadas para divulgar es la narración, pues esta refuerza la transmisión y la recreación de la información, haciéndola comprensible, placentera y memorable. Basado en estudios psicológicos, Aquiles Negrete (2008) argumenta que atención y asociación son elementos indispensables para que el conocimiento se integre a la memoria a largo plazo. Asimismo, la emoción provocada por la experiencia vivida, y el contexto externo e interno (emociones y sensaciones) también son determinantes para que la información perdure en la memoria (*idem*).

Una de las formas narrativas más eficaces es el audiovisual, pues las imágenes atractivas, capacidad de síntesis, creatividad para describir fenómenos, lenguaje conciso, entre otros, son ideales para divulgar ideas complejas. En esta investigación se analiza un tipo particular de narrativa audiovisual: el documental. John Grierson definió documental como “el tratamiento creativo de la actualidad”; el término proviene del francés *documentaire* y, en un primer momento, se refería a filmes sobre viajes (Grierson, 1966). Asimismo, el documental contribuye a conformar una memoria colectiva, pues muestra sucesos que ocurren en un mundo histórico que compartimos (Nichols, 1997). En el siguiente apartado se ahondará en la definición y modos de representación del documental.

1.4.2. El documental y sus modos de representación

En 1948 la *World Union of Documentary* definió documental como “todo método de registrar en celuloide cualquier aspecto de la realidad interpretado bien por la filmación de hechos o por la reconstrucción veraz y justificable, para apelar a la razón o a la emoción, con el propósito de estimular el deseo de ampliar el conocimiento y la comprensión humanos, y plantear sinceramente problemas y soluciones en el campo de la economía, la cultura y las relaciones humanas” (León, 2002, p. 79).

Particle Fever, objeto de estudio de la presente investigación, cumple con varias de las características descritas. Consiste en el registro de un aspecto de la realidad (el CERN y los investigadores que ahí trabajan), interpretado desde la perspectiva del director (Mark Levinson); apela a las emociones del público a la vez que amplía su conocimiento y comprensión mediante el

planteamiento de un problema (la puesta en marcha del LHC y sus implicaciones científicas y sociales), y soluciones dentro del campo científico. Asimismo, *Particle Fever* implica un tratamiento creativo de la realidad, pues Levinson logra mostrar, de manera atractiva, el intrincado trabajo científico que se realiza en este centro de investigación mediante personajes retratados en su vida cotidiana laboral y personal, que se alegran, se preocupan, se frustran, y que muestran al público en qué consiste su trabajo y por qué es importante.

Nichols (2013) distingue seis modos de representación del documental: poético, expositivo, observacional, participativo, reflexivo y expresivo. Aunque cada uno es independiente del otro (pues uno no es resultado de la mejora del anterior), la mayoría surgió a partir de la insatisfacción de los cineastas ante los modos existentes en su tiempo y contexto; y la tecnología disponible en un momento histórico dado también fue relevante en el surgimiento de cada modo (por ejemplo, los modos observacional y participativo prosperaron gracias a las cámaras de 16mm y a las grabadoras de sonido sincrónico, ligeras y portátiles, de los sesenta) (*idem*).

La mayoría de los documentales de divulgación comparten características de varios de los modos descritos por Nichols; por ejemplo, algunos se apegan al modo expositivo, como el documental *Walking with dinosaurs* (1999), pues combinan imágenes de la realidad con asociaciones poéticas para informar, exponer o argumentar un tema al público, generalmente por medio de voz en *off* que remite a una autoridad omnisciente. Otros audiovisuales se inclinan por el modo observacional, ya que la cámara funge como testigo presencial de un suceso, tratando de pasar desapercibida; esto se puede apreciar en *Naturally Obsessed* (2009). Por otro lado, *The most unknown* (2018) emplea el modo participativo, pero sobre todo invita al espectador, y a sus protagonistas, a un ejercicio de reflexión, por lo tanto despliega características del modo reflexivo.

Particle Fever se puede considerar un documental en modo predominante participativo porque el director, Levinson, muestra a los científicos en su entorno laboral¹⁵; y si bien no interactúa con ellos a cuadro, son ellos quienes hablan a la cámara (al espectador) para relatar en qué consiste el experimento a realizar en el LHC. Estas características son similares al *cinéma-vérité*, porque el documentalista expone una realidad que acontece cuando las personas interactúan en presencia de la cámara (Nichols, 2013).

Además de las características anteriores, *Particle Fever* pertenece a un tipo particular de documental: de divulgación de ciencia, en el siguiente apartado se revisan brevemente orígenes y características de estos.

¹⁵ Nichols reconoce las aportaciones que las ciencias sociales, específicamente la antropología, dieron al modo participativo, pues los investigadores de estas áreas se dedicaron desde tiempo atrás a promover el estudio de grupos sociales mediante la interacción directa con sus miembros para aprender sobre, y describir, sus modos y costumbres. En el mismo tenor, los documentalistas del modo participativo van al campo de estudio (en el caso de *Particle Fever*, al CERN) y conviven con las personas que filman para brindar al espectador la sensación de estar en una situación determinada (Nichols, 2013, pp. 208 y 209).

1.4.3. Orígenes y características del documental de divulgación de ciencia

Los primeros registros cinematográficos con fines científicos surgieron a finales del siglo XIX, incluso antes de la presentación pública del cinematógrafo de los hermanos Lumière, el 28 de diciembre de 1895. Por ejemplo, en 1874 el astrónomo francés Jules Janssen, llevó a cabo un registro del tránsito de Venus por el Sol con ayuda del “revólver fotográfico”, que él mismo construyó. En 1882 el fisiólogo Étienne Jules Marey, también francés, inventó el fusil fotográfico para estudiar el vuelo de las aves; posteriormente diseñó el cronofotógrafo para analizar la fisiología del movimiento animal y humano (Tosi, 1987).

A fines del siglo XIX y principios del XX, diversos científicos llevaron a cabo registros cinematográficos de bacterias, insectos, enfermedades y procesos quirúrgicos, esto implicó un gran avance en la didáctica de diversas áreas científicas. Las técnicas cinematográficas facilitaron la obtención de datos, pues permitían manipular el tiempo y el espacio. Las posibilidades que ofrecía el cine para la empresa científica parecían infinitas. En el caso de sucesos que ocurrían demasiado rápido para la observación humana, el registro cinematográfico permitía modificar el rango de tiempo por medio de un registro lento (por ejemplo, el aleteo de un colibrí); o por el contrario, el registro podía acelerarse para observar en poco tiempo algo que tardaba días, o meses, en acontecer (como el crecimiento de una flor o el deshielo de glaciares).

Asimismo, el registro cinematográfico podía ayudar a estudiar fenómenos que ocurrían en lugares de difícil acceso (como el fondo del mar, el espacio, los nidos, las madrigueras o incluso el interior del cuerpo humano). También era posible aumentar el tamaño de lo muy pequeño para registrar microbios, bacterias o células; y hasta contemplar algo lejano, o en longitudes de onda que el ojo humano no percibe (como el ultravioleta, el infrarrojo o los rayos x). Otra gran ventaja del registro cinematográfico era que los fenómenos quedaban guardados y se podían proyectar cuantas veces fuera necesario para analizarlos.

En las primeras décadas del siglo XX, varios cineastas realizaron filmes que abordaban temas antropológicos o de la naturaleza. Entre los más destacados se encuentran el italiano Roberto Omegna, el estadounidense Robert Flaherty, el francés Jean Painlavé, los soviéticos Boris Dolin y Aleksandr Zguridi y el escocés John Grierson, quien incluso fundó y dirigió la escuela británica de documentales. Entre las producciones de estos cineastas destaca *Nanook of the North* (Flaherty, 1922), registro de un grupo de esquimales que es valioso no sólo por sus características antropológicas, también porque su narrativa incluye elementos dramáticos (Tosi, 1987).

Desde inicios de siglo XX las técnicas de animación fueron empleadas en los filmes divulgativos. En 1908 Émile Cohl produjo *Joyeux Microbes*, y años más tarde, Étienne Lallier divulgó la teoría de la relatividad también con animaciones (León, 2002). Durante los años treinta, otro tema que comenzó a explorarse fue la zoología, con la descripción del comportamiento animal (León, 1999). Entre la Primera y la Segunda Guerra Mundial, las salas de cine en Europa

incluyeron pequeños filmes con temas de ciencia en los noticiarios que precedían a las películas. De acuerdo con León (2002), es en este período que se extiende el uso del cine como instrumento científico y divulgativo.

Después de la Segunda Guerra Mundial, la producción de filmes documentales de divulgación científica aumentó, principalmente en países europeos. Esto ayudó a que los científicos pudieran hacer más investigaciones, al tiempo que llevaron información a la población, que en esos momentos era vital para la prevención de enfermedades y padecimientos diversos (León, 1999). Aunado al tema de salud (que siempre ha interesado a la población) otro tópico muy explorado fue el antropológico: la descripción de los modos de vida, tradiciones, rituales, y otros aspectos en la cotidianidad de diversas poblaciones.

Como ya se comentó, la zoología también fue exitosa, en 1948 Disney produjo *Seal Island*, y en 1953 lanzó el largometraje *Living Desert* (*ídem*). Disney fue una de las primeras productoras en emplear el antropomorfismo en documentales sobre animales. Y aunque atribuir características humanas a otros seres vivos no siempre es científicamente acertado, permite la fácil identificación del espectador; series televisivas como *El reino del suricato* (transmitida por Animal Planet entre 2005 y 2009) o *Los monos ladrones* (emitida por NatGeo entre 2008 y 2011) han sido presenciadas por amplias audiencias.

De acuerdo con León, los documentales con temática científica proliferaron a partir de los años cincuenta con la popularización de la televisión (León, 2008). En los años setenta, la National Geographic Society produjo materiales cuyo rigor científico era más preciso que los de Disney, pues contaba con el apoyo de investigadores que asesoraban a los realizadores; y no sólo produjo filmes para exhibición cinematográfica, también incursionó en la televisión (León, 1999). Entre las productoras de televisión dedicadas a la divulgación científica se encuentran PBS (*Public Broadcasting Service*, cadena de televisión pública en Estados Unidos), NHK (*Nippon Hoso Kyokai*, emisora pública de radio y televisión japonesa), *Deutsche Welle* (servicio de televisión y radiodifusión pública alemana) y la BBC (*British Broadcasting Corporation*, la industria de medios de comunicación británica) principalmente.

Entre las referencias obligadas de documentales y series televisivas de divulgación científica, se encuentra el trabajo del oceanógrafo francés Jaques-Yves Cousteau: *Le monde du silence* (1956), *Le monde sans soleil* (1965), *Voyage au bout du monde* (1975) y *L'Odyssée sous-marine de l'équipe Cousteau* (producida entre 1968 y 1976). Otras producciones destacadas en televisión son *Horizon* (emitida por la BBC en 1964), *The plutonium connection* (producida por la serie Nova, de la PBS, en 1975), *Cosmos: a personal voyage* (1980), escrita y producida por el cosmólogo y divulgador norteamericano Carl Edward Sagan, cuya audiencia superó los 600 millones de espectadores a nivel mundial¹⁶. También destaca el trabajo del inglés Sir David Frederick Attenborough, con producciones como *Life on earth* (1979), *The living planet* (1984),

¹⁶ El dato de niveles de audiencia de *Cosmos* fue obtenido de León, 2002, p. 76.

The trials of life (1990), *The private life of plants* (1995), *The life of birds* (1998), *The life of mammals* (2002), *David Attenborough's Natural Curiosities* (2013-2014), entre otras.

Entre las series televisivas de divulgación más populares en décadas recientes, se encuentran: la serie británica *Walking with dinosaurs* (1999), la mini serie estadounidense *The elegant universe* (2003), basada en el libro de divulgación con el mismo título, escrito por Brian Greene, quien también funge como presentador. Por otro lado, también está el documental francés *La marche de l'empereur* (2005), dirigido por Luc Jacquet, o el documental estadounidense *An inconvenient truth* (2006)¹⁷. Otras series y programas destacados son: *Particle Fever* (2013), objeto de análisis de este trabajo de investigación, y *Cosmos: a spacetime odyssey* (2013), cuyo presentador es el prestigiado astrofísico y divulgador Neil deGrasse Tyson.

A finales del siglo XX, y principios del XXI la tecnología en cámaras cinematográficas permitió la transición del soporte analógico (*cassette* con cinta de video) al digital (tarjeta de memoria). Este cambio no solo tuvo consecuencias en el registro, almacenaje y transmisión del material filmado, también implicó un cambio en la concepción del documental, una de estas es la democratización, pues cualquier persona podía comprar más fácilmente una cámara, grabar y almacenar horas de material¹⁸ (León *et al.*, 2014). Actualmente dispositivos tecnológicos, como teléfonos móviles o *tablets*, contienen aplicaciones o programas para grabar, editar, almacenar y transmitir videos.

Otra innovación que tuvo lugar alrededor del nuevo milenio fue el uso de la animación por computadora y otras técnicas de generación de imágenes digitales. Estas fueron aprovechadas por los audiovisuales de divulgación científica, puesto que así podían presentar al espectador explicaciones o teorías abstractas, y también funcionaban para recrear acontecimientos del pasado, cuando aún no existían métodos de registro cinematográfico. Algunas de las series ya mencionadas, como *Walking with dinosaurs* (1999) y *The elegant universe* (2003), fueron de las primeras en aprovecharon estas técnicas para divulgar ciencia.

De acuerdo con algunos investigadores (León *et al.*, 2014; van Dijck, 2006), cuando el cine entra en la era digital y emplea las técnicas de animación ocurre una pérdida de referencialidad, es decir, ya no existe una relación indéxica con el mundo real, por lo tanto se entra al subgénero de la pintura. Ante esta situación, León sugiere que lo correcto sería informar al espectador para que

¹⁷ Este documental fue novedoso por tres razones: en primer lugar el presentador es Al Gore (vicepresidente de Estados Unidos bajo la administración de Bill Clinton, y candidato demócrata a la presidencia en las elecciones del año 2000), quien expone a la audiencia datos y cifras que avalan la existencia del cambio climático; en segundo lugar, está organizado en forma de conferencia; finalmente, fue de los primeros trabajos en abrir y posicionar el debate alrededor de un problema ambiental (Pellisser, 2008, p. 50 y 52).

¹⁸ No solo esto, también existen programas de edición de video digital que además de ser económicos (o incluso gratuitos, como el caso de iMovie, de la empresa Apple), son fáciles de usar (principalmente para las nuevas generaciones). De manera que en la actualidad, cualquier persona con interés, puede filmar con su propio teléfono móvil, descargar horas de material en su computadora, editar con un programa como iMovie, y exhibir su audiovisual en YouTube.

tenga bien claro en dónde termina la representación de lo real y comienza la artificialidad implicada en la animación (León *et al.*, 2014). En este mismo sentido, León advierte sobre el riesgo de privilegiar los efectos visuales en detrimento del rigor científico (León, 2010).

Si en la década de los sesenta el audiovisual de divulgación pasó del cine a la televisión, en la primera década del siglo XXI internet se convirtió en el nuevo nicho a conquistar. La red ofrecía un lugar más amplio para los documentales, pues hasta antes se podían encontrar casi exclusivamente en muy pocos canales públicos culturales, o en la televisión de paga (Rosique, 2014, p. 65). Actualmente en la red existen diversos audiovisuales de ciencia y de divulgación, desde documentales o programas de televisión clásicos que se han mencionado en páginas anteriores, hasta nuevas producciones que a veces ni si quiera se transmiten en televisión o se exhiben en el cine, sino que se encuentran en plataformas web. Por ejemplo, en Netflix es posible encontrar producciones como *Cosmos: a spacetime odyssey* (2013), *Particle Fever* (2013), *The Most Unknown* (2018), pero también producciones de Discovery, NatGeo, Disney, o PBS como *Inside Einstein's Mind* (2015) y *Tesla* (2016).

En YouTube también se pueden encontrar capítulos de series clásicas conducidas por Carl Sagan, Jacques Cousteau o David Attenborough; y además videoblogs, cápsulas o audiovisuales con narrativas diferentes a las tradicionales que también hacen divulgación. Aunque esto podría interpretarse como una democratización del conocimiento, debemos recordar que en nuestro país, y alrededor del mundo, existen muchas regiones en donde no toda la población no tiene acceso a internet (o un dispositivo como computadora, *tablet* o teléfono móvil, para ver estos materiales), así que esta democratización es relativa, pues está al alcance de unos cuantos, aquellos con internet y un dispositivo con acceso a este.

Ahondando en YouTube y la relativa facilidad que implica grabar, editar y cargar contenido audiovisual a la red, Luis Ángel Fernández (2008) da cuenta de científicos que producen sus propios audiovisuales. Aquí el término producción se emplea en el sentido más estricto del medio, ya que escriben un guión, graban, editan, agregan música y exhiben el contenido en la red. Por medio de estos materiales los investigadores explican en qué consiste su trabajo, el proceso y los resultados obtenidos. Contrario a los artículos científicos, este contenido es gratuito y de libre acceso para cualquier internauta. Por ejemplo, en el portal web bioclip.com se encuentran audiovisuales realizados por científicos que abordan temas principalmente de biología molecular y celular (Fernández, 2008). Este caso constituye un ejemplo de democratización de la ciencia (puesto que el científico le habla directamente al público y comparte sus avances antes de si quiera publicarlos en un medio arbitrado); pero también genera dudas sobre la premura en la presentación de resultados sin pasar por un filtro evaluador, pues este conocimiento provisional no ha sido validado y, por lo tanto, es susceptible de ser refutado (Pérez, 2008).

Por otro lado, los *webdoc* (documental web)¹⁹ pretenden documentar “lo real” con ayuda de la tecnología interactiva digital (León *et al.*, 2014). Estas producciones se pueden encontrar en diversas plataformas de internet y, aunque su narrativa es similar a los documentales convencionales, han modificado la interacción con los espectadores, pues estos pueden incidir en el proceso de producción y exhibición, razón por la cual se les denomina *prosumers* (combinación de los términos *producen* y *consumer*). Su participación puede ser colaborando con ideas para la elaboración del material, o aportando contenido, este es el caso de documentales como *Highrise* (Cizek, 2009) y *One day on earth* (Ruddick, 2012)²⁰; sin embargo, la autoría de estos materiales resulta difícil de establecer (*idem*).

Los materiales exhibidos en la red se han denominado transmedia²¹, pero los proyectos interactivos, o los *webdoc*, no necesariamente son transmedia ni *crossmedia* (Guardia, 2014). El fenómeno *crossmedia* ocurre cuando un mismo contenido se distribuye y reproduce en diferentes plataformas; mientras que la transmedialidad consiste en una narración que comienza en un medio pero termina en otros, aprovecha la convergencia mediática y la participación de la gente (principalmente nativos digitales²²) a través de medios interactivos (Rosique, 2014). Aún queda mucho por estudiar acerca de la experiencia de los espectadores con estos nuevos materiales en estas plataformas y modalidades de distribución que se modifican constantemente.

Este recorrido por la historia del documental de divulgación de ciencia resulta pertinente porque evidencia al menos tres aspectos importantes: primero que el empleo del audiovisual para divulgar la ciencia ha sido constante desde el surgimiento del cine hasta la actualidad; en segundo lugar las características del audiovisual son propicias para divulgar la ciencia (capacidad de síntesis de ideas abstractas, posibilidad de grabar en sitios inaccesibles, posibilidad de modificar el tiempo para presentar fenómenos muy rápidos o lentos para la vista humana, narrativa atractiva, entre otras). En tercer lugar, a pesar de que la tecnología ha modificado la manera en que se graban, editan y exhiben estos materiales, siempre se ha mantenido la constante de la narrativa, es decir, contar una historia al espectador, con un principio, un conflicto y un final con una resolución.

A pesar de que las herramientas tecnológicas y los medios de exhibición surgidos en diferentes contextos (transición del cine a la televisión, y de la televisión al internet) han

¹⁹ León retoma el término del texto de Judith Aston y Sandra Gaudenzi: *Interactive documentary: setting the field* (2012).

²⁰ En estos materiales los productores y/o directores pidieron al público que enviará grabaciones realizadas por ellos mismos con la ayuda de cualquier dispositivo; miles de grabaciones pasaron por un filtro de revisión, hubo un proceso de selección y al final se editaron los extractos enviados por gente de todo el mundo. El resultado fue, en cada uno de los casos, un documental realizado con la participación de gente alrededor del mundo.

²¹ El término refiere a un contenido que es exhibido en diversos medios y plataformas. Aunque fue empleado por primera vez en un libro de Marsha Kinder de 1991, fue hasta 2003 cuando comenzó a popularizarse a partir de un artículo sobre la narrativa transmedia escrito por Henry Jenkins (Rosique, 2014, p. 68).

²² Personas que nacieron y crecieron en la era digital, con la tecnología a su disposición, por lo que les resulta más fácil (que a generaciones previas) comprenderla y emplearla.

contribuido a modificar, poco a poco, los elementos principalmente formales (aunque también dramáticos) del documental, es importante resaltar que existe un elemento que se ha mantenido casi inamovible: la narrativa o *storytelling*, “contar con una buena historia será la base para el desarrollo de proyectos documentales transmedia” (Rosique, 2014, p. 72).

El documental de divulgación de ciencia “no suele pretender la transmisión de una gran cantidad de conocimientos, ni tampoco hacerlo de forma muy detallada. Por el contrario, este género resulta idóneo para presentar contenidos científicos de manera sintética y simplificada, a través de los cuales es posible dar a conocer algunos asuntos tratados por la ciencia” (León, 2002, p. 82); asimismo el contenido no debe perder rigor científico. El documental científico consiste en las obras audiovisuales que:

1. Tratan sobre asuntos centrados en resultados de investigación, hechos o conocimientos relacionados directamente con alguna disciplina de la ciencia, o argumentación basada en conocimientos científicos, incluyendo las ciencias naturales, aplicadas y sociales.
2. Muestran explícitamente (en la imagen, la narración o los títulos de crédito) que han contado con la colaboración o el aval de expertos o instituciones científicas, que han participado como fuentes de información o asesores de contenido (León, 2008).

Aunado a las características anteriores, Salcedo propone que los documentales de divulgación de ciencia deben incluir los siguientes elementos temáticos, formales y científicos:

1. *Temático*: debe abarcar asuntos centrados en resultados de investigaciones, hechos, conocimientos, argumentaciones o hipótesis basadas en estudios científicos relacionados directamente con las ciencias naturales, aplicadas y sociales.
2. *Formal*: sus estructuras narrativas y sus herramientas visuales están destinadas a la comprensión, interés, concienciación, formación de criterio y entretenimiento del público.
3. *Científico*: debe certificar de la validez y autoridad científica de los contenidos que se transmiten mostrando explícitamente (en la imagen, la narración o los títulos de crédito) la colaboración o el aval de expertos o instituciones científicas como fuentes de información o asesores de contenido (Salcedo, 2010).

León (1999) identifica en los documentales de divulgación científica al menos tres conjuntos de técnicas: narrativas, dramáticas y argumentativas. Las primeras remiten al relato expuesto por un narrador; las técnicas dramáticas refieren a la manera en que una acción es presentada de manera directa, sin que haya un narrador que relate lo que ocurre; por último, las técnicas argumentativas ayudan a presentar la información de manera verosímil para convencer al espectador de que adopte alguna postura. Aunado a las técnicas descritas, León considera que la fascinación por un tema también radica en elementos como la proximidad (en tanto cercanía física

y cultural), la relevancia (refiere a asuntos que son importantes, o afectan, a un gran número de personas), la rareza (se relaciona con eventos inesperados o ajenos al espectador), el conflicto (tiene que ver con polémicas entre grupos de personas), el interés humano (temas importantes para la mayoría de las personas), y el interés visual (imágenes que resultan atractivas para el público) (León, 1999 y 2010). En los siguientes tres sub-apartados se describe en qué consiste cada una de estas técnicas, pues serán retomadas posteriormente, como elemento de análisis, en el nivel formal histórico-cultural.

1.4.3.1 Técnicas narrativas

León destaca al menos dos técnicas narrativas en los documentales de divulgación de ciencia: la simplificación²³ de contenidos y los planteamientos antropomórficos. La simplificación implica hacer más sencillo algo complejo sin caer en distorsiones o reducción exagerada de un planteamiento; se trata de exponer, en términos sencillos, un tema científico (León, 1999). Existen al menos tres formas de simplificar el contenido:

- a) Tratamiento de cuestiones científicas complejas: frecuentemente tiene que ver con la eliminación de términos científicos complejos difíciles de comprender para el público lego.
- b) Supresión de controversias: pocos documentales de divulgación hablan del largo proceso que implica que un conocimiento sea aprobado por la comunidad científica, esto requiere tiempo y resta concreción; lo más frecuente es que un documental presente datos que parecen incontrovertidos o irrefutables en cuestiones no resueltas, o que serán a futuro.
- c) Reducción de dimensiones: tiene que ver principalmente con abreviar el tiempo para mostrar al espectador un fenómeno que toma horas, días, meses, años o incluso décadas, en ocurrir.

Por otro lado, el antropomorfismo implica atribuir características o actitudes humanas a seres que carecen de estas, en algunos temas (como los documentales sobre vida silvestre) podría ayudar a mantener la atención del espectador y mejorar su comprensión de aspectos ajenos; sin embargo, se debe emplear con responsabilidad y sin exagerar las atribuciones humanas.

Roger Silverstone (1984) fue de los primeros investigadores en analizar documentales de divulgación científica, su estudio de caso fue *The death of the dinosaurs* (1981). Para este investigador aunque un documental refiere a la realidad, también implica un intento por convencer, persuadir o desalentar al espectador respecto a algo. Asimismo, asegura que en la

²³ La simplificación de contenido que plantea León (1999) debe distinguirse de la simplificación de la ciencia que menciona Sánchez-Mora (2010). Aunque ambos planteamientos pretenden un lenguaje más sencillo comprensible para un público amplio, León además propone la supresión de controversias y la reducción de dimensiones.

narrativa de cada documental radica una tensión entre lo que él denomina mítica (*mythic*)²⁴, que refiere formas narrativas comunes a todas las culturas; y la mimética (*mimetic*)²⁵, que remite a la representación. La narrativa no sólo ocurre a partir de la historia, sino también de la forma en cómo se cuenta esa historia, lo que es posible a partir de las herramientas de la cámara o de la edición:

Un encuadre en contrapicado tendrá una connotación muy diferente a un encuadre a la altura de la vista. Los zooms, paneos y trayectorias convierten una imagen estática en dinámica (...) La yuxtaposición de imágenes, las varias técnicas, tanto ópticas como mecánicas, que afectan el encuadre en una forma particular -la mezcla lenta, el “wiping”, o la división de pantalla, por ejemplo, así como la inclusión de títulos o subtítulos, son todos parte de una mirada impuesta durante la edición. Estos también son relevantes para hacer sentido en la manera en que un texto documental es construido²⁶.

(Silverstone, 1984, p. 389).

Por otro lado, Silverstone identifica cinco roles asignados a científicos en estas narrativas:

1. *Científico como pensador*: rodeado de los productos de su raciocinio, o el de otros, aparece sentado en su escritorio donde produce ideas.
2. *Científico como técnico*: aparece en el laboratorio rodeado de equipos, es experto en aparatos misteriosos y poderosos.
3. *Científico como obrero*: rodeado de herramientas simples con las que puede producir datos resultado de una actividad física.
4. *Científico como demostrador*: rodeado de exhibiciones audiovisuales para aleccionar.
5. *Científico como intérprete*: rodeado por el mundo natural significativo (para él), que puede descifrar de manera autoritaria (Silverstone, 1984, p. 400).

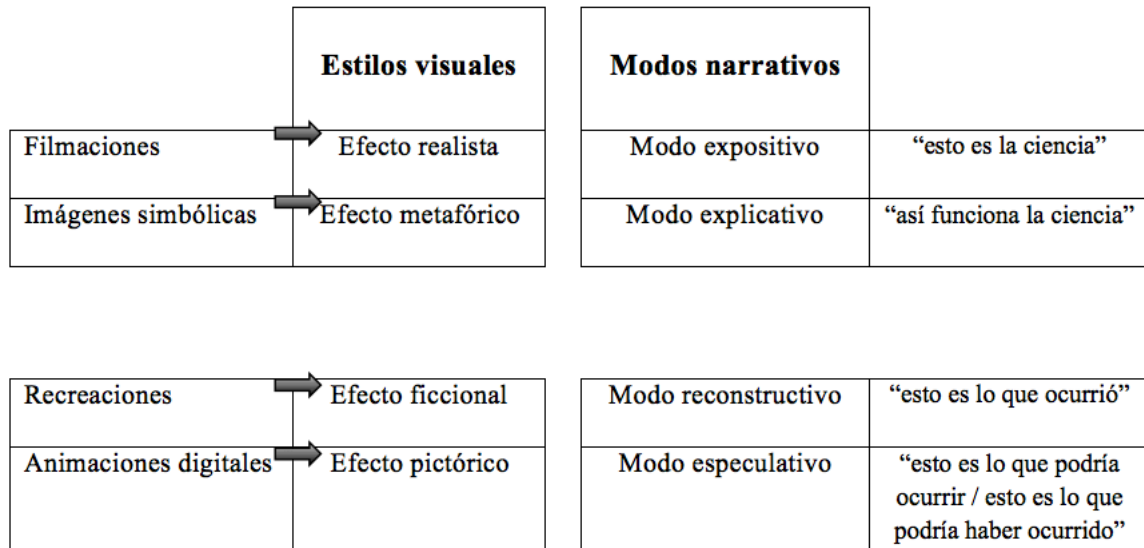
De acuerdo con Silverstone, cada uno de los roles presenta al científico como héroe o antihéroe. Asimismo, la ciencia es presentada como una labor individual realizada principalmente por hombres que lucen exitosos e impecables; o como una actividad técnica (es decir, una labor que difícilmente podría realizarse exitosamente sin la ayuda de tecnología sofisticada). También subraya la presentación repetitiva de aparatos tecnológicos a lo largo del documental, frecuentemente los científicos aparezcan a cuadro junto a estos, aunque ni siquiera expliquen su funcionamiento, y a esto lo denomina “imágenes tecnomórficas”. Por otro lado, las “imágenes semiomórficas”, consisten en textos producto del trabajo científico: imágenes de lecturas de aparatos (como un osciloscopio), imágenes de los textos en un libro, o de ecuaciones escritas en un pizarrón. Silverstone enfatiza que ninguna de estas imágenes son explicadas a la audiencia, y aunque lo hicieran lo más probable es que serían aceptadas ciegamente (*idem*).

²⁴ Silverstone relaciona este término con elementos de dramatización, fantasía o entretenimiento (traducción propia) (Silverstone, 1984, p. 388).

²⁵ Silverstone relaciona este término con elementos de representación y argumento. Retoma los conceptos de “mítico” y “mimético” de Northrop Frye (1971) y los adapta a la narrativa de los documentales de ciencia. Asimismo la idea de la narrativa mítica la rescata del modelo de cuento popular de Vladimir Propp (1968).

²⁶ Traducción propia.

Por otro lado, José van Dijck (2006) analizó el documental científico en tanto espectáculo multimedia²⁷. La autora distingue cuatro modos narrativos (expositivo, explicativo, reconstructivo y especulativo²⁸) que relaciona con cuatro estilos visuales (efecto realista, efecto metafórico, efecto ficticio y efecto pictórico).



(van Dijck, 2006, pp. 8 y 11).

A continuación se describe la combinación entre los modos de representación y los estilos visuales:

1. *Modo expositivo y estilo visual de efecto realista*: apela al espectador por medio de intertítulos o voz en *off* que frecuentemente pertenece a un científico (experto en el tema abordado), que también puede fungir como anfitrión del documental. Otros investigadores también pueden hablar a la cámara, su autoridad se torna indispensable para avalar lo expuesto en el documental (van Dijck, 2006). Neil deGrass, Carl Sagan y Brian Green son científicos que han fungido como presentadores de programas de divulgación en televisión, cuya autoridad refuerza el contenido.
2. *Modo explicativo y estilo visual de efecto retórico*: una voz *off* explica al espectador cómo funciona la ciencia mediante el uso de estrategias retóricas (como metáforas o anécdotas), que ayudan al público a comprender mejor los procesos del trabajo científico (*idem*). Por ejemplo, David Attenborough frecuentemente recurre a las

²⁷ Tomó como estudio de caso dos series televisivas exitosas a inicio del siglo XXI: *Walking with dinosaurs* (1999), coproducida por la BBC, Discovery Channel, TV Asahi, Pro Sieben y France 3; y *The elegant universe* (2003), producida por PBS, como parte de su serie NOVA.

²⁸ Esta clasificación recuerda los modos de representación planteados por Nichols (1997 y 2013).

metáforas para lograr que el público comprenda con mayor precisión los fenómenos presentados.

3. *Modo reconstructivo y estilo visual de efecto ficcional*: mediante la ficción se recrean acontecimientos científicos que ocurrieron en el pasado. Estos documentales también se denominan docu-dramas, su validez se ratifica mediante la presencia de un narrador experto que relata los eventos (*idem* y Salcedo, 2010). *Walking with dinosaurs* (1999) recrea, con ayuda de animaciones digitales, el comportamiento, la fisiología y la convivencia entre diversas especies de dinosaurios que poblaron la Tierra en la era mesozoica.
4. *Modo especulativo y estilo visual de efecto pictórico*: se emplea la ficción para especular sobre lo que tendrá lugar en el futuro, o sobre lo que podría haber ocurrido bajo circunstancias diferentes. Para lograr lo anterior este modo aprovecha técnicas de animación digital, lo que aporta una suerte de “efecto pictórico”²⁹. Van Dijck asegura que si bien los documentales científicos ya empleaban animaciones digitales en diagramas, gráficas o proyecciones abstractas, el carácter artificial de estas se ponía en evidencia. Sin embargo, la detallada calidad de la animación computacional más reciente, otorga a los objetos creados con esta técnica un aspecto muy similar al video analógico, de manera que resulta difícil notar la artificialidad, por tanto la autora lo considera especulativo (van Dijck, 2006). *The elegant universe* (2003) es el perfecto ejemplo del uso de la especulación y la ficción para explicar teorías científicas. En su primer capítulo se abordan las implicaciones de la teoría de cuerdas, mostrando (con ayuda de animación por computadora) cómo serían, si existieran, dimensiones paralelas.

La digitalización definitivamente cambia la forma de grabar o filmar un acontecimiento, y también de contar una historia, la posibilidad de insertar elementos digitales a locaciones implica nuevos retos en la dirección y la fotografía. El realismo digital se ha convertido en un nuevo factor de análisis cinematográfico. Asimismo el factor digital modifica la estética del cine, pues permite otras formas de lectura. La estética digital abre nuevas posibilidades para el documental en general; en el documental de ciencia estos elementos se han aprovechado ampliamente.

Así, hoy en día es común que las explicaciones de fenómenos complejos se realicen por medio de modelos, gráficas y reconstrucciones que aprovechan las diversas técnicas de animación como el *stop motion*, la rotoscopia, el *cut-out*, la plastinación, la pixilación digital y la animación por computadora, entre otras. Una vez descritas diferentes maneras de narrar visualmente un acontecimiento, el siguiente paso es describir la forma en que esa narración se configura en un relato accesible al espectador, en el siguiente sub-apartado se detallan las técnicas dramáticas.

²⁹ Van Dijck retoma este término del libro *The reconfigured eye. Visual truth in the pos-photographic era* (1992) de William J. Mitchell, donde habla de la manera en que comprendemos, razonamos y empleamos imágenes; este texto constituyó uno de los primeros análisis sobre las imágenes digitales.

1.4.3.2 Técnicas dramáticas

Dentro de las técnicas dramáticas León menciona: a) la construcción de relatos (lineales o con una estructura dramática); b) la consideración de los seres reales como personajes; y c) los elementos de conflicto y *suspense*. León define el relato como la representación coherente y secuencial de una historia, de un conjunto de acciones (reales o ficticias) que ocurren en un tiempo anterior a la narración (León, 1999). Feldman (en León, 1999) distingue entre relatos lineales y aquellos que adoptan una estructura dramática (en la cual se abre, desarrolla, y cierra un conflicto). La historia es un hilo narrativo que orienta al espectador y facilita el contenido del relato. León menciona que en los documentales de naturaleza se hace presente la utilización de fábulas como *leitmotiv*; adicionalmente, Barbara Crowther (en León, 1999), menciona que las tres historias más empleadas son: a) el ciclo de la vida (nacimiento, reproducción y muerte); b) narrativa de la búsqueda; y c) triunfo de la ciencia sobre la naturaleza.

Por otro lado, algunos documentalistas toman a una persona real y la presentan al espectador como personaje que realiza acciones que constituyen el hilo conductor del documental. Sin embargo, Silverstone (1985) advierte que encasillar a una persona en héroe o villano, para ganar la atención del espectador, puede ser contraproducente.

El tercer punto de las técnicas dramáticas refiere los elementos de conflicto y *suspense*; la importancia del conflicto se remarca en diversos libros sobre guionismo (Feldman, 1990; Field, 1996; Vogler, 2002; y Chion, 2009), pues constituye el elemento principal que mantendrá al espectador interesado en el relato. León considera que en documentales sobre naturaleza el conflicto se puede identificar en la lucha de los seres por sobrevivir o por defender su territorio (León, 1999). En este punto conviene abordar el análisis que desarrolla Christopher Vogler en *El viaje del escritor* (2002) sobre los arquetipos y la estructura narrativa, para ello Vogler se basa en la propuesta de Joseph Campbell en *El héroe de las mil caras* y *El poder del mito*, así como en el concepto de imitación descrito en *La Poética* de Aristóteles. Vogler divide la narración en tres actos, a lo largo de los cuales el protagonista (héroe) de la historia llevará a cabo un viaje que guiará al espectador para hacer trascender una idea y generar una sensación. A continuación se presentan las etapas de la narrativa descritas por Vogler (basado en Campbell):

Primer Acto

1. El mundo ordinario
2. El incidente incitador
3. El llamado a la aventura
4. El rechazo al llamado
5. El encuentro con el mentor
6. La travesía del primer umbral (clímax del primer acto)

Segundo Acto

7. Pruebas, aliados, enemigos

8. La aproximación a la caverna más profunda
9. La odisea (calvario-clímax del segundo acto)
10. La recompensa

Tercer Acto

11. El camino de regreso
12. La resurrección
13. El retorno con el elixir

El *suspense* se refiere a la espera impaciente de algo que sucederá en el relato, la duda que genera el público por saber si el personaje cumplirá, o no, su objetivo (Field, 1996). De acuerdo con Robert McKee (2005) los elementos fundamentales para desarrollar una historia son: un mundo, un(os) personaje(s), un tema y un tono (acción, romance, *thriller*, comedia, etc.). Asimismo, las características fundamentales que debe poseer el protagonista de una historia son: problemas, objetivos y empatía.

Contar historias constituye uno de los recursos con mayor potencial para comunicar la ciencia a un público amplio. En este sentido, los recursos dramáticos permiten estructurar y ordenar la información de manera comprensible para el público, porque se apela a sus valores emocionales (León *et al.*, 2010). En general, los documentales de divulgación se configuran alrededor de un relato:

Las historias que se cuentan suelen tener un protagonista con un objetivo concreto, que se ve inmerso en una sucesión de hechos, a través de los cuales se plantea un conflicto, que finalmente se resuelve de alguna manera (...) el documental tiene la ventaja de que utiliza esquemas narrativos que resultan familiares para el espectador y, al mismo tiempo, sirve como hilo conductor que mantienen al público orientado e interesado en los hechos que se van presentado. (León, 2010, pp. 70 y 71).

El empleo de un relato que guíe el contenido del documental brinda unidad, y ayuda a que el público se mantenga atento a la trama y al contenido del audiovisual. En documentales de ciencia, los *leitmotifs* más frecuentes son: la búsqueda de la verdad, el viaje, o el científico-héroe contra el mal. Sin embargo, León advierte que el exceso de elementos dramáticos podría eclipsar el contenido científico y ocasionar la pérdida de credibilidad (*idem*). Para que no ocurra es necesario estructurar una argumentación efectiva que transmita información al espectador, para que tenga confianza en los datos expuestos. En el siguiente sub-apartado se exploran las técnicas argumentativas, fundamentales en los documentales de divulgación.

1.4.3.3 Técnicas argumentativas

Dentro de estas técnicas se incluyen modos retóricos que pretenden persuadir al espectador, esto ocurre cuando un orador logra la identificación del público con la causa que defiende. La

identificación no significa identidad, sino comunidad, es decir apelar a una creencia común³⁰. Generalmente las narrativas tienen como protagonista a un personaje por el que el público siente afinidad (lo que comúnmente se conoce como identificarse con el personaje), y que ayuda a formar parte de su trayectoria, lo cual facilita seguir la trama de la historia (Azevedo, 2010).

Los modos retóricos predominantes en el documental de divulgación son: epidíctico (modo demostrativo o festivo por medio del cual el narrador trata de convencer al espectador apelando a las virtudes de un tema particular, aludiendo valores aceptados universalmente, o presentando argumentos para demostrar una proposición; por ejemplo, algunas producciones muestran herramientas tecnológicas que pretenden mejorar la vida de las personas), forense (se refiere a la explicación de las causas de algún fenómeno) y deliberativo (en el cual se presentan y evalúan las ventajas y desventajas de un fenómeno y sus implicaciones hacia el futuro) (Azevedo, 2010 y León, 1999). El enfoque epidíctico corre el riesgo de caer en el cientificismo porque muestra una visión parcial del lado optimista de la ciencia. En cambio, el modo forense y el deliberativo parecen más sustanciosos, sobre todo si se combinan, así habría una mezcla de búsqueda de las causas de un fenómeno particular con una evaluación de ventajas, desventajas e implicaciones. Sin embargo, es necesario señalar que no todos los temas de ciencia se prestan para desarrollar lo anterior. El público meta y el objetivo del realizador determinarán el modo retórico ideal.

Otro de los elementos de la argumentación es la reputación y la competencia, encarnados en la figura del presentador (en caso de que lo haya). Si en el documental hay un narrador o presentador que guíe a la audiencia, debe tener cierto grado de credibilidad para poder ser considerado figura de autoridad. Tanto lo que diga, como su forma de decirlo (si emplea un lenguaje coloquial y un tipo de voz determinado), como lo que expresa, mediante su imagen y presencia (vestimenta, postura, lenguaje corporal, etc.), son fundamentales y determinantes para que el público tenga confianza y credibilidad hacia él y sus aseveraciones. De acuerdo con Silverstone, el documental debe convencer a la audiencia no sólo de su autoridad, sino también de la exactitud de sus argumentos, de la adecuación de su descripción y de la veracidad de su análisis: “los científicos intentan persuadir a la audiencia, y el documental en general deberá hacer lo mismo” (Silverstone, 1984, p. 406).

Dentro de los argumentos retóricos se encuentran algunas figuras que ayudan a presentar la información al espectador, entre las más empleadas en los documentales de divulgación se encuentran las denominadas figuras afectivas. Destacan el *expolitio* (ampliación de una idea mediante su repetición o argumentación minuciosa), la evidencia (presentación o descripción detallada de un fenómeno), y la sermocinación (caracterización por parte del orador, de un discurso que pertenece a otra persona); estas tres ayudan a que el discurso sea más claro y verosímil. Otras dos figuras retóricas afectivas más empleadas son el símil y la personificación, que ayudan al público a relacionar lo mostrado en el documental con su contexto cotidiano. Finalmente, también se emplean figuras retóricas de sustitución de pensamiento, como la metáfora

³⁰ Azevedo se apoya en el texto de Kenneth Burke *Rhetoric of Motives*.

(intercambio del sentido de un término a otro, con base en una comparación) o la hipérbole (exageración intencionada) (León, 1999).

También existen formas de argumentación no verbales, que descansan principalmente en el manejo de los planos, la selección de encuadres, ángulos, emplazamientos y movimientos de la cámara, así como la selección del sonido, los colores, e incluso el armado de todo lo anterior por medio del montaje. Como ya se mencionó en la sección anterior (1.3), en donde se explican las tres dimensiones de análisis de la imagen de Amador, la disposición de los elementos contenidos en una imagen significan.

Aquí concluye la descripción de técnicas narrativas, dramáticas y argumentativas. También termina el apartado 1.4 sobre documentales de divulgación de ciencia, los elementos que lo integran y las técnicas que lo caracterizan. Asimismo, finaliza el capítulo 1, cuyo objetivo fue sentar los antecedentes y la base teórica necesaria para desarrollar una metodología de análisis para *Particle Fever*, esta tarea se presenta en el siguiente capítulo.

Capítulo 2

Metodología para el análisis de *Particle Fever*

En el primer capítulo se presentó la hermenéutica como base teórica para construir la metodología que, a su vez, servirá para analizar el documental *Particle Fever*. Asimismo, se describieron las propuestas de triple mimesis de Ricoeur, y las tres dimensiones de Amador, que también constituyen la base metodológica. Al final del capítulo también se dio cuenta del origen, los elementos constitutivos y las características de los documentales de divulgación científica. Con base en lo descrito en el primer capítulo, el segundo consiste en el diseño, y descripción paso a paso, del instrumento para analizar el documental en cuestión. En primera instancia, se abordan las implicaciones del análisis en una obra filmica, para ello se echa mano de la propuesta de Francesco Casetti³¹ y Federico di Chio³² para analizar filmes (2016). La selección de estos autores alude a que sus planteamientos parten de una base hermenéutica. Posteriormente, se detallan los pasos que conforman la metodología para analizar *Particle Fever*.

De acuerdo con Casetti y di Chio, analizar es aplicar un conjunto de operaciones a un objeto determinado, estas conllevan la descomposición y recomposición de los elementos que integran dicho objeto para identificar mejor sus componentes (Casetti y di Chio, 2016). El planteamiento de estos autores resulta destacado porque su propuesta de análisis refiere específicamente al film, al cual consideran un lugar de representación, momento de narración y unidad comunicativa, es decir el film como texto. Para ellos el análisis es un recorrido que sirve para tener una mejor inteligibilidad del film, para comprender, y también para comprender cómo se comprende, es decir, una metacompreensión (*idem*).

El análisis se realiza para reconocer, comprender, describir e interpretar: a) el reconocimiento consiste en identificar todos los elementos que parecen en la pantalla como figuras, colores, la iluminación etc.; b) la comprensión implica un trabajo de integración para conectar los elementos entre sí, es decir, insertar todo cuanto aparece en la pantalla en un conjunto más amplio; c) la descripción conlleva detallar cada uno de los elementos; y d) la interpretación consiste en que el observador se ponga en relación con el objeto y “dialogue” con él (*idem*). Lo anterior lleva implícitas la propuesta hermenéutica de Ricoeur detallada en el capítulo anterior (sección 1.2). Asimismo, recuerda las dimensiones formal, simbólica y narrativa planteadas por Amador (sección 1.3 del primer capítulo).

³¹ Francesco Casetti (Italia, 1947) es investigador de temas sobre cine y televisión desde una perspectiva principalmente semiótica. También ha realizado estudios sobre el espectador de cine. Ha sido profesor de la Universidad de Genova, de Trieste, de la Católica de Milán, y también ha sido invitado en la Universidad de Iowa y en Harvard.

³² Federico di Chio (Milán, 1964) se graduó en literatura y filosofía en 1987. Fue director de marketing de RTI-Mediaset (compañía de medios de comunicación italiana cuya televisora comercial es la más grande de su país, fundada en 1987 por el ex primer ministro italiano Silvio Berlusconi) y CEO de Medusa Film (casa productora del grupo Mediaset, fundada en 1995). Actualmente es profesor de la Universidad Católica de Milán.

El análisis es realizado por un observador que posee concepciones previas y que además tiene una idea de lo que puede y quiere encontrarse en este proceso analítico. Por tal razón es importante que el analista sepa qué es lo que busca, cuál es la meta y qué se va a investigar a lo largo de este proceso. El analista no sólo posee una pre-comprensión del texto, también debe tener una hipótesis explorativa para delimitar el campo, elegir un método de análisis y definir los aspectos a estudiar (Casetti y di Chio, 2016). Algunos criterios de validez del análisis considerar son: a) coherencia interna: no caer en contradicciones; b) relevancia cognoscitiva: decir algo nuevo e ir más allá de lo evidente; c) extensión: considerar el mayor número de elementos posibles; entre otros (*ídem*). En la sección de Anexos de la presente investigación (p. 210) se presenta el cuadro “El recorrido del análisis”, que sintetiza la propuesta descrita hasta el momento.

Para comenzar el análisis es necesario llevar a cabo cuatro operaciones que ayudarán a mantener el orden y la disciplina, para no perder el rumbo y distraerse. Estas operaciones consisten en segmentar, estratificar, enumerar, ordenar, reagrupar y modelizar los elementos constitutivos del audiovisual. A continuación se describen, asimismo en los Anexos (p. 211) se presenta el cuadro “Los procedimientos del análisis”:

- *Segmentar*: consiste en descomponer la linealidad del audiovisual, en subdividir grandes unidades de contenido y fraccionarlas en conjuntos más pequeños y concisos. Primero se segmenta en episodios, luego en secuencias, posteriormente en encuadres, y finalmente en imágenes.
 - *Estratificar*: implica examinar los diferentes estratos que componen el audiovisual. Esta es una operación transversal que ayuda a identificar y diferenciar los componentes presentes a lo largo de todos los segmentos. Primero se identifican los elementos que se repiten en el audiovisual (como el estilo, el tema y la narrativa). En segundo lugar se identifican las oposiciones y variantes que recorren el audiovisual transversalmente.
 - *Enumerar*: conlleva realizar un catálogo sistemático de los elementos presentes en el audiovisual, identificados en la segmentación y la estratificación.
 - *Ordenar*: consiste en asignar una categoría a cada uno de los elementos constitutivos del audiovisual.
 - *Reagrupar*: implica llevar a cabo una jerarquización de los elementos que fueron ordenados en el paso anterior.
 - *Modelizar*: es una representación sintética de los principios de construcción y funcionamiento del audiovisual.
- (Casetti y di Chio, 2016, pp. 32-47).

Con base en las recomendaciones anteriores, se establece una serie de procedimientos que resultan necesarios para comenzar el análisis del documental. En la siguiente sección se describen estos.

2.1. Procedimientos necesarios para comenzar el análisis

En esta sección se establece una serie de procedimientos necesarios para antes de comenzar el análisis del documental.

- a) Delimitar el documental a analizar. Esto quiere decir seleccionar una producción y describir aspectos básicos como: ficha técnica, sinopsis, área del conocimiento que aborda, los científicos que participan y, finalmente justificar la elección.
- b) Establecer una primera finalidad del análisis para saber qué se quiere analizar del documental. Esto conlleva generar una hipótesis.
- c) Elegir y describir el método para analizar el documental. Esto implica definir los aspectos a estudiar (formales, narrativos, etc.).
- d) Segmentar el documental en episodios, secuencias, encuadres o imágenes según la finalidad del análisis.
- e) Estratificar, es decir identificar los elementos que se encuentran presentes en el documental:
 - *Estilo*: se refiere al tipo de iluminación, a los movimientos de cámara en general, sin demasiados detalles. Por ejemplo, se puede decir que en la iluminación dominan los claroscuros o bien que es naturalista, etc. Asimismo, sobre los movimientos de cámara se puede mencionar si estos son bruscos o lentos, si son cámara en mano o encuadres fijos. La identificación del estilo permitirá tener un primer acercamiento al realizador del audiovisual, sus posibles influencias y formación.
 - *Tema*: es la aparición reiterada de lugares o situaciones. Por ejemplo, si el escenario recurrente es un automóvil o algún tipo de transporte, es probable que se trate de una *road movie* (género cinematográfico en el cual los personajes viajan de un sitio a otro y, que al mismo, es una metáfora de un viaje interior pues remite a cambios en la vida, o la personalidad, del protagonista); por otro lado, si la situación reiterada hace referencia a la vida amorosa del protagonista, entonces es probable que se trate de una película romántica.
 - *Modo de presentar el tema*: en el cine documental hay cuatro modos básicos: expositivo (los intertítulos o una voz *off* se dirigen al espectador para aportar información, mientras las imágenes ilustran o contrapuntean lo expuesto), de observación (consiste en un registro de la realidad sin que se note la presencia de la cámara o del realizador), interactivo (con elementos del *cinema verité* retrata las reacciones de la gente ante la cámara, además la presencia del documentalista y la cámara se evidencian) y reflexivo (es más introspectivo que los modos anteriores, y la presencia del documentalista forma parte de la narrativa) (Nichols, 1997 y León, 1999). Asimismo, José van Dijck (2006) propone cuatro modos narrativos combinados con estilos visuales específicos para documentales de divulgación:

modo expositivo y estilo visual de efecto realista (apela al espectador por medio de intertítulos o voz en *off* que frecuentemente pertenece a un científico experto en el tema abordado, que también puede fungir como anfitrión del documental); *modo explicativo y estilo visual de efecto retórico* (una voz *off* explica al espectador cómo funciona la ciencia mediante el uso de estrategias retóricas, como metáforas o anécdotas, que ayudan al público a comprender mejor los procesos del trabajo científico); *modo reconstructivo y estilo visual de efecto ficcional* (mediante la ficción se recrean acontecimientos científicos que ocurrieron en el pasado, algunos se denominan docu-dramas y su validez se ratifica mediante la presencia de un narrador experto que relata los eventos); y *modo especulativo y estilo visual de efecto pictórico* (se emplea la ficción para especular sobre lo que tendrá lugar en el futuro, o sobre lo que podría haber ocurrido bajo circunstancias diferentes. Para lograr esto se aprovechan principalmente técnicas de animación digital que aportan un cierto “efecto pictórico”).

- *Técnicas narrativas*: repetición de acciones por parte del (los) protagonista(s). Por ejemplo, si el protagonista del relato vive en un mundo ordenado en el que ocurre un incidente incitador, que lo obliga a realizar acciones fuera de su cotidianidad para al final lograr una recompensa y aprender una lección, entonces se estaría hablando de una narrativa clásica.
- *Personajes*: descripción de las intervenciones, a cámara y en voz *off*, de cada protagonista. Esta distinción tiene por objetivo registrar el número de participaciones de cada uno, saber quien aparece más veces a cuadro (y por qué), distinguir las características de las intervenciones de cada uno para categorizar el rol asignado; y hacer un balance global de la información que aportan. Asimismo, en caso de que exista, se da cuenta de la posición del narrador: homodiegética (si es protagonista o testigo), o heterodiegética (cuando el narrador es omnisciente u objetivo), y su punto de vista (primera, segunda o tercera persona).

- f) Construir un catálogo de los elementos identificados en la segmentación y la estratificación.
- g) Ordenar y jerarquizar los elementos identificados para observar los elementos en conjunto, y establecer las relaciones entre ellos.
- h) Escribir una escaleta que sirva como modelo simplificado del audiovisual. La escaleta es una lista que enumera y describe brevemente el contenido de cada escena, es más sintético que el guión técnico, pero más detallado que el guión argumental.

Una vez considerados los procedimientos recién descritos, necesarios para comenzar el análisis del documental, a continuación se presentan los nueve niveles de análisis que surgen a partir de las bases teóricas de Amador (2017), Ricoeur (2004), Casetti y di Chio (2016) y León (2010) descritos en el primer capítulo y en la sección anterior. En primera instancia, en la siguiente página se esquematizan los nueve niveles en un cuadro, posteriormente se detalla cada nivel para así completar la propuesta de análisis que se aplicará al documental *Particle Fever*.

NIVEL FORMAL		
Formal analítico-descriptivo	Formal semiótico	Formal histórico-cultural
<p>Identificación y descripción de signos:</p> <p>Visuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Personajes, objetos y lugares - Iluminación y color - Cualidades materiales - Animaciones y gráficos <p>Sonoros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Monólogos y diálogos - Sonido directo y efectos sonoros - Banda sonora musical 	<p>Descripción de las relaciones que establecen los signos (visuales y sonoros) entre sí:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Composición fotográfica - Movilidad - Montaje 	<p>Reconocimiento y descripción del estilo: la manera en que signos visuales y sonoros se emplean de forma determinada en una cultura y época particular.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Técnicas narrativas - Técnicas dramáticas - Técnicas argumentativas
NIVEL SIMBÓLICO		
Simbólico analítico-descriptivo	Simbólico semántico	Simbólico histórico-cultural
<p>Identificación y descripción de símbolos en los signos visuales y sonoros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Personajes - Objetos - Lugares - Iluminación, color y cualidades materiales - Animaciones y gráficos - Diálogos, efectos sonoros y banda sonora musical 	<p>Descripción de la relación de los signos (visuales y sonoros) con sus referentes reales o imaginarios.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Composición fotográfica - Movilidad - Montaje 	<p>Significación específica de los símbolos en un momento histórico dado, en una sociedad determinada:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis de símbolos (identificados en el documental) en el contexto del relato mítico.
NIVEL NARRATIVO		
Narrativo analítico-descriptivo	Narrativo semántico	Narrativo histórico-cultural
<p>Descripción de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Personajes y acciones (y sus relaciones jerárquicas) - Situaciones de conflicto, <i>suspense</i> y resolución - Descripción de la representación de la ciencia 	<p>Descripción de la manera en que las unidades mínimas de significación, visual y sonora, se agrupan en motivos, y estos en temas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Síntesis, descripción y análisis de la narración del documental 	<p>Descripción de las prácticas del equipo de producción.</p> <p>Contexto histórico y cultural de producción y exhibición.</p> <p>Características importantes del trabajo científico en el documental.</p> <p>Descripción de la función social del documental de divulgación.</p>

Amador propone los términos: analítico-descriptivo³³, semiótico³⁴, semántico³⁵ e histórico-cultural³⁶ para los nueve niveles de análisis que surgen a partir del cruce entre sus categorías analíticas (formal, simbólica y narrativa) y las de Ricoeur (mimesis I, III y III). Las primeras dos columnas (conformadas por los niveles formal analítico-descriptivo, formal semiótico, simbólico analítico-descriptivo, simbólico semántico, narrativo analítico descriptivo, y narrativo semántico), se concentran en analizar las características y contenido de la obra, por lo tanto se corresponden con lo que Ricoeur denomina mimesis II (mundo de la obra).

Por otro lado, los niveles formal histórico-cultural, simbólico histórico-cultural y las dos primeras partes del narrativo histórico-cultural (concernientes a la descripción de las prácticas del equipo de producción y al contexto histórico y cultural en que se produjo y exhibió el documental) tienen la intención de situar, como la descripción lo indica, histórica y culturalmente la obra y su(s) autor(es), por lo tanto recuerda mimesis I en Ricoeur (que remite al mundo del autor).

Finalmente, los últimos dos conjuntos analíticos del nivel narrativo histórico-cultural (que refieren al análisis de las características importantes del trabajo científico y a la descripción de la función social del documental de divulgación de ciencia) consisten en un análisis histórico-cultural desde la perspectiva del (la) intérprete y su horizonte; lo que Ricoeur denomina mimesis III (que se concentra en el horizonte del intérprete). Para desarrollar los dos puntos anteriores se echa mano del análisis de Martínez-Rodríguez (2016), que será descrito detalladamente en el apartado 2.4.3., de este capítulo.

Es preciso aclarar que la dimensión semiótica tiene un límite analítico, por esto es que sólo aparece en el nivel formal; en los niveles simbólico y narrativo se sustituye por la dimensión semántica. Ricoeur y Amador coinciden en que un análisis semántico es necesario porque no basta describir la relación de los signos entre sí (semiótica), resulta necesario establecer la conexión de estos con el referente real, o imaginario, que evocan (semántica). Esto se lleva a cabo en los niveles simbólico semántico y narrativo semántico, una vez que ya se han revisado las relaciones de los signos entre sí en el nivel formal semiótico.

Asimismo, es importante recordar que Amador (2017) recomienda comenzar el análisis por los elementos de la obra (mimesis II para Ricoeur), y a partir de eso se lleva a cabo el análisis del

³³ Lo analítico-descriptivo hace referencia al proceso de identificar, describir y analizar un(os) elemento(s) específicos.

³⁴ El término semiótico es empleado tanto por Amador (2017) como por Ricoeur (1999), refiere a las relaciones que establecen los signos entre sí mismos. Ambos autores consideran que los análisis semióticos de los estructuralistas son insuficientes y caen en un reduccionismo absurdo.

³⁵ El término semántico es empleado tanto por Amador (2017), como por Ricoeur (1999) y describe la relación de los signos con el referente, real o imaginario, que nombra. Ricoeur acota que el planteamiento analítico que él propone no es de signos aislados (como pretenden los estructuralistas con la semiótica), sino un análisis semántico de unidades estructurales complejas. Si se establece una analogía con el análisis de textos, Ricoeur se refiere a analizar frases y no sólo palabras aisladas.

³⁶ Amador (2017) emplea este término para referir al uso concreto del sistema de signos que se da en un momento histórico dado y en una sociedad específica.

contexto del autor (mimesis I), porque de esta manera se plantean las preguntas histórico-culturales pertinentes, de lo contrario el análisis sería inabarcable. Finalmente, se lleva a cabo un análisis pragmático, que también es histórico-cultural (y por esto fue incluido en el último nivel narrativo histórico-cultural), que refiere a la forma en que los sistemas de signos son utilizados por los usuarios desde la perspectiva del intérprete (mimesis III para Ricoeur). Una vez aclarado lo anterior, en las siguientes secciones (2.2., 2.3. y 2.4.) se describe a detalle cada uno de los nueve niveles sintetizados en el cuadro anterior.

2.2. *Análisis formal*

2.2.1. Formal analítico-descriptivo. Consiste en la identificación y descripción de los signos visuales y sonoros del documental.

Los signos visuales son:

- *Personajes, objetos y lugares*: descripción de personajes y otros elementos que aparecen dentro del cuadro de imagen del documental.
- *Iluminación y color*: gradaciones e intensidad de la luz; descripción del colorido, saturación, matiz, tonalidad y contrastes en los colores predominantes.
- *Cualidades materiales*: soportes y materiales empleados (cinta física o digital, sensibilidad de la cinta, formato 16:9 o 4:3).
- *Animaciones y gráficos*: estos elementos digitales suelen emplearse en los documentales de ciencia para explicar de manera sintética fenómenos complejos por medio de modelos, gráficas o reconstrucciones. Entre las técnicas de animación más recurridas se encuentran *stop motion*, rotoscopia, *cut-out*, plastinación, pixilación digital y animación por computadora.

Los signos sonoros son:

- *Monólogos y/o diálogos*: conversaciones que sostienen los personajes con otros, o con ellos mismos.
- *Sonido directo y efectos sonoros*: los primeros son captados de manera simultánea al filmar las imágenes, mientras que los segundos se fabrican artificialmente en estudio para ayudar a acentuar la imagen.
- *Banda sonora musical*: piezas musicales que aparecen a lo largo del documental y que pueden guiar, enfatizar o contrastar los acontecimientos mostrados.

2.2.2. Formal semiótico. Consiste en la descripción de las relaciones que establecen los signos (visuales y sonoros) entre sí. Esta descripción remite a la composición fotográfica, la movilidad y el montaje:

- *Composición fotográfica*: descripción de: 1) escala de campos y planos (campo larguísimo, campo largo, campo medio, campo total, figura entera, plano americano, media figura, primer plano, primerísimo plano y plano detalle); 2) grados de angulación (frontal, picado, contrapicado, nadir, cenital, holandés, subjetivo, semi subjetivo y lateral) e 3) inclinación (normal, oblicua, vertical) de la cámara (Casetti y di Chio, 2016).
- *Movilidad*: es necesario distinguir el movimiento profilmico (el movimiento de las personas y objetos representados en el cuadro de la imagen) de los movimientos de la cámara que se subdividen en reales (*travelling*, *steady-cam*, *pan right*, *pan left*, *dolly in*, *dolly back*) y aparentes (*zoom in* y *zoom back*) (*idem*).
- *Montaje*: se refiere a la organización y articulación del conjunto de escenas. Existen diversos tipos de montaje que se pueden sintetizar de acuerdo a la forma en que asocian a las imágenes, lo que resulta en cinco formas básicas de asociación (por identidad, por analogía y contraste, por proximidad, por transitividad y por acercamiento). Además de lo anterior también cabe destacar el plano-secuencia (toma continua sin cortes de por medio), el *découpage* (asociación de una serie de imágenes que contienen y refieren situaciones diferentes), y el montaje rey (asociación de imágenes que no tienen un nexo directo entre sí) (*idem*).

2.2.3. Formal histórico-cultural. Este nivel consiste en el reconocimiento y la descripción del estilo, es decir, la manera en que los signos visuales y sonoros en conjunto (la composición fotográfica, la movilidad y el montaje) se emplean de una forma determinada en una cultura y época particular. Para definir mejor el estilo se retoma la clasificación de León (1999) de técnicas narrativas, dramáticas y argumentativas que ya fueron descritas detalladamente en los sub-apartados 1.4.3.1., 1.4.3.2., y 1.4.3.3. En síntesis, las técnicas narrativas remiten al relato expuesto por un narrador; las dramáticas refieren la manera en que una acción es presentada directamente al espectador, sin la presencia de un narrador; finalmente, las argumentativas refuerzan la verosimilitud de la información presentada para convencer al espectador de adoptar determinada postura.

2.3. *Análisis simbólico*

Esta etapa consiste en identificar los elementos que reflejan un pensamiento simbólico presentes en el documental. Símbolo es un término con connotaciones específicas que representa algo desconocido y oculto; una palabra o imagen es simbólica cuando representa algo más allá de su

significado inmediato y obvio (Jung, 1995). Los símbolos se originan a partir de arquetipos. Los arquetipos (o imágenes primordiales) son formas mentales innatas y heredadas por la mente humana (Jung, 1995), estos procesos psíquicos son comunes a todos los seres humanos porque compartimos el mismo sistema neurobiológico producto de la evolución³⁷.

Los símbolos, derivados de los arquetipos, se producen en cualquier tiempo y en cualquier parte del mundo (*ídem*), se construyen culturalmente, se aprenden dentro de un contexto social determinado, son atemporales y se transmiten de generación en generación. Mientras que el arquetipo surge en el inconsciente (personal y colectivo), y constituye una estructura, los símbolos surgen en el consciente, se modifican con el tiempo y la cultura, y constituyen una configuración del arquetipo³⁸. Para Jung el arquetipo es como el lecho de un río, mientras que el símbolo es como el agua que corre por este; el lecho siempre está ahí para dar forma al agua, aunque esta nunca sea la misma³⁹. Los arquetipos se expresan en forma de mitos, la mente humana es mitopoética, es decir, produce mitos (Jung, 1970 y Amador, 2017). Aunque la distancia y el contexto cultural sean diferentes, los relatos míticos comparten ciertos rasgos comunes (por ejemplo el mito de Tonantzin y el mito de la virgen María)⁴⁰. Los mitos se pueden encontrar en la historia, en la literatura y en el arte, así que es probable que también estén presentes en un documental de ciencia.

2.3.1. Simbólico analítico-descriptivo. Este nivel consiste en la identificación y la descripción de símbolos en los signos visuales y sonoros del documental: personajes; objetos; lugares; iluminación, color y cualidades materiales; animaciones y gráficos; diálogos, efectos sonoros y banda sonora musical.

- *Identificación de símbolos en personajes*: la descripción de la vestimenta, bisutería, posturas corporales y expresiones faciales puede aportar elementos que remitan a una referencia simbólica a una cultura específica.
- *Identificación de símbolos en objetos*: la manera en que los grandes aparatos tecnológicos, y otros objetos, son descritos por medio de determinados encuadres y movimientos de cámara, transmiten un mensaje que remite al simbolismo de estos dentro de una cultura.
- *Identificación de símbolos en lugares*: los sitios específicos donde ocurre la narrativa del documental poseen una carga simbólica que transmite un mensaje.

³⁷ Notas de clase del Seminario de hermenéutica con el Dr. Julio Amador Bech, del 7 de febrero de 2019.

³⁸ Un ejemplo de arquetipo es el complejo materno; un ejemplo de símbolo relacionado con el complejo materno es Coatlicue, que en la cultura mexicana simbolizaba la maternidad o la fertilidad.

³⁹ Notas de clase del Seminario de hermenéutica con el Dr. Julio Amador Bech, del 7 de marzo de 2019.

⁴⁰ *Ídem*, 14 de febrero de 2019.

- *Simbolismo de iluminación, color y cualidades materiales*: las características de la iluminación (si es natural o artificial, con una determinada difusión y dirección), de los colores intencionalmente predominantes, y del empleo de un aspecto y formato determinados, comunican.
- *Simbolismo en animaciones y gráficos*: el empleo de animaciones y gráficos animados es frecuente en documentales de ciencia, estos pueden contribuir a explicar términos complejos; pero cuando no se emplean de manera adecuada distraen la atención.
- *Simbolismo en diálogos, efectos sonoros y banda sonora musical*: el uso de narradores o presentadores es común en los documentales de ciencia porque sirve como guía al espectador. El lenguaje empleado por narrador y protagonistas aporta al desarrollo dramático y argumentativo de la narrativa. Por otro lado, la elección de una melodía determinada, para un momento crucial de la narración, también aporta al drama y, sobre todo, transmite información de la trama.

2.3.2. Simbólico semántico. Se refiere al estudio semántico de los signos, es decir, a la descripción de la relación de los símbolos (visuales y sonoros) con sus referentes reales o imaginarios.

- *Simbolismo de la composición fotográfica*: la elección de director y fotógrafo para que ciertos campos y planos, grados de angulación e inclinación, retraten a personas, u objetos, denota una intencionalidad.
- *Simbolismo de la movilidad*: el empleo de movimientos reales o aparentes para fotografiar los diversos personajes, y objetos, a cuadro reflejan una manera de pensar.
- *Simbolismo del montaje*: la particular articulación del conjunto de escenas depende principalmente del editor. Su estilo para asociar las imágenes es determinante para que la narrativa fluya como espera el director, su particular forma de relatar aportará un significado específico a la narración.

2.3.3. Simbólico histórico-cultural. Los símbolos descritos en el nivel simbólico analítico-descriptivo deben ponerse en contexto para insertarlos en un horizonte histórico-cultural determinado. Este nivel consiste en la descripción de la significación específica de esos símbolos en un momento histórico dado y en una sociedad determinada.

- *Análisis de símbolos en el contexto del relato mítico*: los elementos simbólicos, identificados y descritos en el nivel simbólico analítico-descriptivo, se explican ampliamente en este segmento, esta vez dentro del relato mítico al que pertenecen.

2.4. Análisis narrativo

2.4.1. Narrativo analítico-descriptivo. Consiste en la descripción de personajes y las acciones que realizan (así como una jerarquización de los mismos); situaciones de conflicto, *suspense* y resolución; así como la representación de la ciencia presentados en el documental.

- *Descripción de los personajes y sus acciones (y la relación jerárquica que establecen)*: los personajes pueden clasificarse en protagónicos, antagonicos y secundarios. Los protagonistas son personajes principales e indispensables para la narración, su presencia es constante a lo largo de la historia, pues no podría desarrollarse sin ellos. Los antagonicos son aquellos personajes que muestran oposición al protagonista, frustran sus acciones o deseos. Los secundarios aparecen poco a lo largo del relato, pues generalmente no son muy relevantes en la narración.

- *Descripción de elementos de conflicto, suspense y resolución*: el conflicto se relaciona con las polémicas que existen entre personajes, o de un personaje consigo mismo. En los documentales de naturaleza generalmente el conflicto se encuentra en la lucha de los seres vivos por sobrevivir o defender su territorio (León, 1999). Por otro lado, el *suspense* se refiere a la espera impaciente de algo que sucederá, es la duda por saber si un personaje va a cumplir su objetivo (Field, 1996). Por último, la resolución consiste en a disolución del conflicto, lo que propicia un cambio en el personaje y sus circunstancias.

- *Descripción de la representación de la ciencia en el documental*: identificación de los conceptos científicos empleados, determinar si esos términos se explican y contextualizan, en qué grado y de qué tipo es la contextualización (social, histórica, política, cultural, etc.). Finalmente, también resulta significativo mencionar si el documental lleva a cabo una contextualización sociológica de la ciencia, si menciona su relevancia para la vida cotidiana, si cuestiona la ciencia o a los científicos (León *et al.*, 2010).

2.4.2. Narrativo semántico. Este nivel consiste en la descripción de la manera en que se agrupan las unidades mínimas de significación (signos visuales y sonoros) para conformar motivos, que a su vez constituyen temas que configuran un todo narrativo, es decir, cómo es que cada parte de la narración va despejando una parte de significación de todo el documental en conjunto; consiste en una “semántica de la acción” (Ricoeur, 2004) que conduce a reparar en determinados personajes que realizan acciones específicas en contextos particulares, esto permite entender el mundo de la acción relatado en la narración, por lo tanto constituye un pre-requisito de la interpretación. Se lleva a cabo una síntesis, descripción y análisis de la narración del documental.

- *Síntesis, descripción y análisis de la narración del documental*: se refiere al modo de expresión dominante en el relato, que puede ser: a) descriptivo-informativo (exposición de información sin que exista una historia en el sentido dramático); b) narrativo (relato de hechos organizados cronológicamente, es decir lo que se conoce como contar una historia); c) relato de experiencias de los propios actores; o d) argumentativo (consiste en un tratamiento conceptual de las ideas tratadas). Por otro lado también se debe señalar la posición del narrador (si es homodiegético, es decir protagonista o testigo; o si es heterodiegético, o sea omnisciente u objetivo) y su punto de vista (primera, segunda o tercera persona). Aunado a lo anterior se da cuenta de la línea narrativa, si es una narración cronológica, o si realiza *flash back* o *flash forward* (León *et al.*, 2010).

2.4.3. Narrativo histórico-cultural. Este nivel consiste en situar histórica y culturalmente el documental y su(s) autor(es). Una obra audiovisual difícilmente puede atribuirse únicamente al (la) director(a); otro(a)s miembros del equipo de producción, como fotógrafo(a)s, editore(a)s, productore(a)s, también contribuyen al producto final. Este nivel tiene cuatro momentos analíticos: en primer lugar se realiza una descripción de las prácticas del equipo de producción (para situar histórica y culturalmente a los autores de tal obra); posteriormente se describe el contexto histórico y cultural en que se produjo y exhibió el documental. Asimismo, se lleva a cabo un análisis histórico-cultural del documental, desde la perspectiva del intérprete en dos temas específicos: por un lado se describen las características importantes del trabajo científico, y por otro se detalla la función social del documental.

- *Descripción de las prácticas del equipo de producción*: consiste en abordar la formación, trayectoria filmica y hasta experiencias de vida de los profesionales (director, productor, fotógrafo, musicalizador y editor) que contribuyeron a producir el documental y cuyo estilo repercutió en este.

- *Descripción del contexto histórico y cultural en que se produjo el documental*: se refiere al lugar y momento en que se realizó, y exhibió, el documental.

- *Análisis de las características importantes del trabajo científico*: este análisis se basa en una lista propuesta a partir de una reconstrucción de elementos de la Naturaleza de la Ciencia (NdC) que aborda los siguientes elementos: a) provisionalidad del conocimiento científico; b) diversidad de métodos; c) observación, inducción, deducción y creatividad; d) diferencia entre hipótesis, leyes y teorías; e) modelos científicos; f) contexto social y la subjetividad; g) trabajo en equipo; y h) diferencia entre ciencia y tecnología (Martínez-Rodríguez, 2016). A continuación se describen:

a) *Provisionalidad del conocimiento científico*

El trabajo científico es un proceso, por lo tanto el conocimiento resultante nunca está terminado, así que no es absoluto, tiene un carácter provisional debido a que siempre está sujeto a revisión, ya que en cualquier momento se puede presentar nueva información. La evidencia acumulada apoya, valida y justifica una ley o una teoría, pero no las puede probar, ya que no hay forma de demostrar que son verdaderas. La aceptación del conocimiento científico nuevo nunca es inmediata, particularmente cuando es diferente a lo tradicionalmente planteado. Algunos documentales de divulgación presentan sólo los resultados de una investigación científica, sin mencionar el largo proceso que hay detrás.

b) *Diversidad de métodos*

No hay un método único o universal en la labor científica, la forma en que los científicos desarrollan su trabajo, para generar conocimiento, no puede resumirse en una serie de pasos porque es muy diferente para cada área, incluso en una misma disciplina existen diversos procedimientos que dependen de la forma de trabajo en cada grupo de investigación. En tanto que los científicos no tienen un único método de trabajo, es absurdo resumir su labor a una serie de pasos mecánicos, porque hay diferentes tipos de investigaciones y, por lo tanto, diversas formas de trabajo en cada comunidad científica. Asimismo, los experimentos no son la única herramienta que emplean, pero en muchas ocasiones este recurso es el más aludido en los audiovisuales de divulgación. Relacionado con esto, también está la idea de que la ciencia, por medio de su “método”, es capaz de resolver cualquier problema o pregunta; sin embargo, existen muchos temas que escapan a su ámbito, como cuestiones morales, éticas o estéticas, que no pueden abordarse por completo desde la ciencia.

c) *Observación, inducción, deducción y creatividad*

El trabajo científico implica más que acumulación de observaciones, e interpretación de estas por medio de deducciones. Ciertamente los científicos interpretan la evidencia empírica con ayuda de la inducción; pero una gran cantidad de evidencia y las inferencias lógicas (deducción, inducción y abducción), no son suficientes para llegar a conclusiones y generar conocimiento. Si la inducción fuera lo único necesario se tendrían que observar todos los casos a lo largo del tiempo para alcanzar conclusiones válidas. La creatividad es necesaria para dar el salto entre la inducción y el arribo a conclusiones. Los científicos emplean la creatividad y la imaginación a lo largo de sus investigaciones, se aventuran a hacer propuestas sobre los patrones que observan, y con base en esto proponen leyes e inventan teorías. Relacionado con esto, la subjetividad y la influencia de las tradiciones y grupos de investigación influyen y determinan en la manera de observar.

Sería interesante analizar si los documentales de divulgación muestran la creatividad como parte del proceso intelectual de los científicos. Y también se podría revisar si consideran que existen otros elementos que también influyen en el trabajo de los investigadores, como la experiencia vital, el contexto social, la cosmovisión y trayectoria académica, o la ideología de los grupos de investigación a los que pertenecen.

d) Diferencia entre hipótesis, leyes y teorías

Las hipótesis consisten en predicciones, pueden derivar en teorías o leyes mediante la acumulación de pruebas y su eventual aceptación por la comunidad científica. Las teorías y las leyes no guardan una relación jerárquica, son dos tipos de conocimiento diferente: las leyes son generalizaciones de las relaciones en fenómenos de la naturaleza; mientras que las teorías son explicaciones inferidas a partir de esas generalizaciones. No hay forma de que una teoría se convierta en una ley, o viceversa. Las leyes y las teorías, al igual que cualquier conocimiento científico, son susceptibles a cambios, por lo tanto son provisionales

Habría que analizar si en los documentales de divulgación se aborda y aclara la diferencia entre estos conceptos. Diferenciar estos conceptos es importante porque ayudaría a erradicar ideas erróneas, por ejemplo que las teorías tienen menor jerarquía que las leyes, y que por lo tanto no son propuestas serias o verdaderas.

e) Modelos científicos

La creencia de que los modelos científicos son representaciones de la realidad conlleva una discusión sobre el realismo y el instrumentalismo. Por un lado, el realismo es una postura filosófica que considera que las representaciones describen realmente la situación en la naturaleza, de manera que los productos de la ciencia funcionan y permiten generar predicciones acertadas. Por otro lado, el instrumentalismo considera que los modelos son sólo herramientas que ayudan a representar la realidad, para que los científicos puedan trabajar con ella. Sin embargo, una de las limitantes de la ciencia tiene que ver con el hecho de que no es posible saber la verdad, o tener certeza absoluta, porque no existe una entidad omnisciente a la cual preguntarle. Quizá el debate realismo versus instrumentalismo no alcance a reflejarse en una producción de divulgación; sin embargo, se puede analizar si habla de los modelos en tanto copias de la realidad, o como representaciones que ayudan a los científicos a trabajar con ella.

f) Contexto social y subjetividad

En tanto que es realizado por personas insertas en un determinado contexto social, la labor científica y el conocimiento que resulta de esta, son influidos por aspectos sociales y culturales de ese mismo contexto, aunque al mismo tiempo también

influyen en él. Los científicos tienen numerosas preconcepciones, ideas, valores, creencias personales y bagaje cultural que influye en las interpretaciones de las observaciones que realizan, así como en el desempeño de su trabajo. Debido a que el conocimiento científico es un producto realizado por personas, no puede ser completamente objetivo, porque no es posible eliminar radicalmente la subjetividad inherente a las personas que lo desarrollan. Se debe analizar si los documentales de ciencia reflejan un trabajo científico construido por personas inmersas en un contexto social, cultural, que sin duda influye su labor.

g) Trabajo en equipo

Gran parte del trabajo científico es realizado por equipos de investigadores, la idea de que los científicos trabajan en solitario es errada, no sólo por la gran cantidad de trabajo que implica para una sola persona, sino también porque no es cierta la idea de la epifanía. Generalmente, para conectar los puntos y observar patrones, se requiere trabajo en equipo. Y en tanto que es producto del trabajo en equipo, la labor científica implica un largo proceso de negociación. Habría que revisar si las producciones de divulgación reflejan un trabajo científico realizado por diversos investigadores, o si por el contrario perpetúan la idea de que el conocimiento es producto de un genio solitario.

h) Diferencia entre ciencia y tecnología

No todo el conocimiento científico deviene en tecnología, también se lleva a cabo investigación cuyo objetivo no es construir o inventar tecnología que “beneficie” a la sociedad. Mucho trabajo de investigación se realiza para profundizar en el conocimiento de fenómenos naturales y otros aspectos del entorno. La distinción entre la ciencia y la tecnología, ayuda a entender que la ciencia no sirve sólo para solucionar problemas, o para mejorar el modo de vida de las personas. Es importante observar la manera en que las producciones audiovisuales abordan la relación entre la ciencia, la tecnología y la sociedad. Si abordan la tecnología como un resultado necesario de la ciencia, y a la sociedad en relación a ella únicamente como beneficiaria, o si, por el contrario, contemplan un diálogo entre la ciencia y la sociedad.

- *Descripción de la función social del documental de divulgación.* La divulgación de la ciencia contiene características que le permiten cumplir con diversas funciones sociales, entre las que se encuentran: explicar los beneficios de la ciencia; mostrar que la ciencia es parte de la cultura, complementar la educación formal; convencer a la sociedad, y a los tomadores de decisiones, de la importancia de apoyar la ciencia; contribuir a la formación de ciudadanos capaces de tomar decisiones informadas, e incentivarlos a participar en decisiones relacionadas con ciencia; construir puentes para un diálogo entre la sociedad y la comunidad científica; fomentar el pensamiento

crítico, entre otros (Fayard, 2004; Reynoso, 2015; Nepote, 2015; Estrada, 2015). Algunas de estas funciones también podrían encontrarse en los documentales de divulgación.

Concluye la descripción del instrumento para analizar *Particle Fever*. Esta propuesta metodológica hermenéutica ayudará a tener una mejor comprensión de los elementos constitutivos y significado de esta producción. Con esta metodología el análisis no se restringe únicamente a los elementos audiovisuales formales, o a sus características divulgativas, sino que propone un análisis de la significación, pues también toma en cuenta la filosofía de la ciencia implícita en estas producciones. Se trata de conocer cómo está constituido este tipo de expresión para crear sentido, y saber de qué manera despliega los diversos elementos que lo integran, y cómo es que estos en conjunto comunican valores en un contexto dado, que a su vez pretenden cumplir una determinada función social.

Finalmente, cabe aclarar que aunque esta propuesta metodológica puede aplicarse a otros documentales de divulgación científica, el análisis resultante será siempre diferente, ya que este análisis es particular, parte del bagaje cultural y la visión de mundo de la persona que interpreta. Por lo tanto no es exhaustivo, constituye sólo una de las posibles formas de analizar este tipo de audiovisuales. Una vez aclarado lo anterior, el siguiente capítulo presenta el análisis con base en la metodología descrita en este.

Capítulo 3

Análisis hermenéutico de *Particle Fever*

3.1 Procedimientos necesarios para comenzar el análisis

a) Delimitación

El documental a analizar es *Particle Fever*, a continuación se presenta la ficha técnica, así como la sinopsis, y otros elementos que ayudan a describir y justificar la selección de este material.

Ficha Técnica: Estados Unidos, 2013. Título original: *Particle Fever* / Director: Mark A. Levinson / Productores: Mark A. Levinson y David E. Kaplan; Thomas Campbell Jackson y Gerry Ohrstrom; Andrea Miller y Carla Solomon / Producción: Abramorama, Bond 360, The Bertha Foundation, Roco Films, Anthos Media, LLC, PF Productions, LLC / Fotografía: Claudia Raschke-Robinson y Wolfgang Held / Diseño y animación: MK12 / Música: Robert Miller / Montaje: Walter Murch / Duración: 99 minutos / Entrevistados: David Kaplan, Fabiola Gianotti, Nima Arkani-Hamed, Savas Dimopoulos, Monica Dunford, Martin Aleksa y Mike Lamont.

Sinopsis: *Particle Fever* es un documental de ciencia que narra las interacciones de algunos de los más de 2 mil científicos que ayudaron a poner en marcha los cuatro experimentos principales (ATLAS, LHCb, ALICE y CMS) realizados entre 2008 y 2012 en el Gran Acelerador de Hadrones (LHC), en el Centro Europeo para la Investigación Nuclear (CERN). La narración comienza en 2008, poco antes del lanzamiento de los primeros haces de partículas, y concluye a finales de 2012, poco después de la detección de la partícula denominada bosón de Higgs. Durante este período se observa la vida laboral, académica y también cotidiana de siete científicos de culturas diferentes.

Área del conocimiento: La temática científica que aborda este documental, de acuerdo con la clasificación UNESCO⁴¹ es principalmente física (22), con los siguientes subtemas: 2206 Física molecular (05 Haces moleculares) / 2207 Física atómica y nuclear (01 Haces atómicos, 05 Procesos de colisión, 06 Haces de electrones, 90 Física nuclear experimental de bajas energías) / 2212 Física teórica (02 Partículas elementales, 03 Energía, 08 Hadrones, 09 Leptones, 10 Masa, 11 Fotones).

Científicos: Entre los científicos destacados que intervienen en el documental se encuentran Fabiola Gianotti, Martin Aleksa, Nima Arkani-Hamed, Savas Dimopoulos, Monica Dunford, Mike Lamont y David Kaplan. Asimismo, entre las instituciones científicas que avalan el contenido del documental están el Consejo Europeo para la Investigación Nuclear (CERN), la

⁴¹La clasificación Unesco consiste en una nomenclatura internacional para los campos de ciencia y tecnología; es decir, es un sistema de clasificación del conocimiento para ordenar principalmente investigaciones y tesis doctorales. Los campos se identifican con dos dígitos, las disciplinas con cuatro, y las subdisciplinas con seis (Wikipedia, 31 de marzo de 2018).

Universidad John Hopkins, la National Science Foundation (NSF), el Departamento de Física en Nueva York de la Universidad de Stanford y el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton.

Justificación: *Particle Fever* fue seleccionado para su análisis principalmente porque es una producción reciente, porque divulga un tema coyuntural de la ciencia contemporánea, porque ha sido galardonado en festivales de cine de ciencia y de divulgación a nivel internacional, entre los cuales se encuentran:

- 2013 *Sheffield International Documentary Festival*. Ganador del Premio de la Audiencia.
- 360° *Contemporary Science Film Festival, Moscow 2013*. Ganador del Premio Gran Jurado y Premio Lluvia de ideas.
- *Jackson Hole Science Media Awards 2014*. Ganador del Premio a Mejor Película de Ciencias Naturales, y Premio a Mejor Edición.
- *Pariscience 2014*. Ganador del Premio Gran Pantalla.
- *Grierson 2014: The British Documentary Awards*. Ganador de Mejor Documental de Ciencia o Historia Natural.
- *DocsBarcelona + Medellín 2014 International Documentary Film Festival*. Ganador del Premio de la Audiencia.
- 2015 *Alfred I. duPont-Columbia Award*
- 2015 *Al-Farabi Award*. Ganador del Premio por Mejor Investigación y Guión en el Ahvaz International Science Film Festival.
- 2015 *U.S. National Academies of Science, Engineering and Medicine Communication Award*
- 2016 *Stephen Hawking Medal for Science Communication in Film*

Aunado a lo anterior, se agregan las siguientes razones:

- *Originalidad en el tema abordado*. Como ya se comentó en el primer capítulo de esta investigación, la mayoría de los documentales de divulgación suelen abordar temáticas relacionadas con medicina o biología, debido principalmente a que estos generan mayor interés por parte del público, o bien porque los temas de naturaleza resultan relativamente fáciles de filmar (y también suelen ser más atractivos visualmente). Sin embargo, *Particle Fever* aborda un tema científico difícil de explicar porque remite a abstracciones más que a objetos o fenómenos observables. Resulta difícil de ilustrar porque en la física molecular, y de partículas, no es posible observar directamente el fenómeno estudiado; los investigadores de estas áreas trabajan principalmente con teorías, modelos, experimentos, pero no con objetos o fenómenos visibles. A pesar de las dificultades mencionadas, el documental expone, explica e ilustra acertadamente un tema complejo como el experimento del LHC y la colisión de partículas para detectar el bosón de Higgs.

- *Empleo acertado de elementos dramáticos y narrativos.* La aparentemente aburrida y densa temática abordada (la detección del bosón de Higgs), resulta interesante en parte gracias a la forma en que se expone al espectador: por medio de personajes con una motivación que atraviesan por un incidente incitador, hay conflicto, tensión y un desenlace de la narración. Lo anterior es logrado gracias a los elementos dramáticos, pero también al destacable empleo de recursos visuales, sonoros y de montaje.
- *Despliegue de las principales características del trabajo científico.* Muchos audiovisuales de divulgación se limitan a presentar los resultados del trabajo científico (principalmente tecnología) y la forma en que este beneficia a la sociedad. En cambio, *Particle Fever* muestra el largo y complejo proceso de la ciencia; asimismo muestra el trabajo en equipo y el carácter cambiante de las teorías científicas, pues varios personajes mencionan que los datos arrojados por el experimento en el LHC son provisionales, y que nuevos datos serán obtenidos cuando esta gran maquinaria sea mejorada.

b) Finalidad del análisis

Con este análisis se pretende identificar, comprender, describir y, finalmente, interpretar los elementos formales, simbólicos, narrativos y filosóficos de la ciencia que conforman este documental de divulgación. Las metodologías de análisis cinematográficos generalmente abordan aspectos formales (visuales, sonoros y de montaje) y narrativos de los filmes (Nichols, 1997 y 2013; Casetti y di Chio, 2016). Existen también análisis de documentales de ciencia que además de revisar los aspectos formales y narrativos, reparan en el contenido científico (Silverstone, 1984; Van Dijk, 2006; León, 2010), aunque lo hacen de manera muy general y sin detenerse en aspectos cruciales de la filosofía de la ciencia (como la manera en que estos audiovisuales abordan diferentes componentes del trabajo científico, como la provisionalidad del conocimiento, la diversidad de métodos, la creatividad, el contexto social, el trabajo en equipo, el uso de modelos, entre otros). Por lo tanto, este análisis pretende reparar tanto en los aspectos formales y narrativos, como en los divulgativos, incluyendo elementos importantes para la filosofía de la ciencia.

Hipótesis: *Particle Fever* presenta en su narrativa algunas de las características importantes de la labor científica, entre las que se encuentran: a) provisionalidad del conocimiento científico; b) diversidad de métodos; c) observación, inducción, deducción y creatividad; d) diferencia entre hipótesis, leyes y teorías; e) modelos científicos; f) contexto social y la subjetividad; g) trabajo en equipo; y h) diferencia entre ciencia y tecnología (Martínez-Rodríguez, 2016⁴²).

⁴² En la tesis de maestría detallo una lista con ocho características principales del trabajo científico, que propongo incorporar al proceso de producción de audiovisuales de divulgación, para que el contenido refleje una labor científica real actual. Para concretar esta lista de características retomé el término Naturaleza de la Ciencia (NdC), que surgió en el ámbito de la didáctica de la ciencia, cuyos principios modifiqué y adapté a la divulgación audiovisual. La intención es que estas características sean consideradas en la planeación de los audiovisuales de divulgación para mejorar la comprensión de la labor científica, así como establecer mejor sus alcances y límites.

c) Metodología de análisis

La hermenéutica fue elegida como herramienta para la interpretación y la comprensión de significado, así como instrumento teórico y metodológico porque permite la descripción y la comprensión de los elementos constitutivos del objeto de estudio sin imponer un modelo apriorístico. La hermenéutica resulta lo suficientemente firme, pero también flexible, para analizar los elementos audiovisuales formales, narrativos y simbólicos, así como la identificación de las características importantes del trabajo científico presentes en *Particle Fever*. El instrumento metodológico empleado conjuga las propuestas de Ricoeur (2004), Amador (2017), Casetti y di Chio (2016), León (2010) y Martínez-Rodríguez (2016). Está conformado por nueve niveles que analizan las dimensiones formal, simbólica y narrativa con perspectiva analítico-descriptiva, semiótica, semántica e histórico-cultural.

d) Segmentación

Segmentar implica descomponer una linealidad, subdividir la gran unidad del documental en fracciones más pequeñas. Este proceso sirve para identificar y separar diacrónicamente el documental. *Particle Fever* fue segmentado primero en episodios y luego en secuencias. Los episodios constituyen la partición más amplia de un film, están constituidos por varias historias breves, o por partes marcadamente diferenciadas de una historia más grande (Casetti y di Chio, 2016). Por otro lado, las secuencias son porciones más breves que los episodios; entre una secuencia y otra generalmente hay un fundido encadenado (una imagen se desvanece mientras aparece otra); un fundido o la apertura en negro (la imagen se esfuma en el vacío o aparece a partir de él); una cortinilla (línea divisoria entre dos imágenes que se mueve lateral o verticalmente, reduciendo una imagen y dejando sitio a la otra); un iris (círculo negro que se cierra progresivamente sobre la imagen); entre otros. Pero también puede haber transiciones no tan evidentes o explícitas, por ejemplo un simple corte puede separar dos segmentos narrativos como si fueran dos “párrafos” de la historia (*ídem*). En la primera sección de los Anexos se lleva a cabo la descripción de los 10 episodios (páginas 212 a 215) que conforman *Particle Fever*; posteriormente también se desglosan las 25 secuencias (páginas 215 a 231) que integran al mismo.

e) Estratificación

Tiene la finalidad de examinar los diversos estratos que componen el film, pero no de manera diacrónica (como en la segmentación), sino de forma sincrónica, para así diferenciar los componentes de los segmentos aislados (Casetti y di Chio, 2016). Consiste en una identificación de los elementos homogéneos que se repiten en el curso del documental como el estilo (iluminación, movimientos de cámara, etc.), el tema (reiterada aparición de lugares o situaciones), el modo de presentar el tema (expositivo, de observación, interactivo o reflexivo), y la narrativa (repetición de acciones por parte del protagonista o antagonista, asentar si se trata de una narrativa clásica o no). Es decir, lo anterior consiste en identificar un eje que recorre al documental transversalmente.

- *Estilo*: la iluminación es principalmente natural, es decir, no se observa el empleo de iluminación artificial para aparentar cierto ambiente específico. En general, la mayor parte de las imágenes fueron filmadas durante el día, aparentemente con luz natural, quizá únicamente con la ayuda de rebotadores o sombrillas especiales que ayudan a distribuir mejor la luz sin producir sombras y/o brillo excesivo. En tanto que en la mayor parte de las imágenes aparecen personas, la iluminación está destinada a enmarcar y cuidar la apariencia de estas. Otro tipo de imágenes que se presentan son los planos abiertos que muestran el paisaje urbano, campus universitarios y campus de investigación, o paisajes naturales; todos los anteriores también fueron filmados con iluminación natural. Por otro lado, también se encuentran las imágenes de objetos que son empleados en este experimento del LHC, por ejemplo el gran mecanismo del ATLAS, los imanes superconductores, las supercomputadoras que procesan los datos, entre otros; todos los anteriores son presentados mayormente por medio de encuadres abiertos para dar cuenta de su gran tamaño, la iluminación es también natural. En cuanto a los movimientos de cámara: la mayoría son básicos (*pan left, pan right, tilt down, dolly in, travelling*). La mayoría de las entrevistas a cuadro fueron filmadas con cámara fija, y los encuadres eran principalmente primeros planos o planos medios. Otras escenas fueron filmadas con cámara en mano (o *steady cam*), principalmente cuando los protagonistas se encuentran en lugares públicos con otras personas (como la sala de control o el auditorio del CERN).
- *Tema*: Se trata de un documental de ciencia que relata el proceso del trabajo científico, los protagonistas son físicos (teóricos y experimentales) que conviven en un ambiente laboral, el espectador es testigo del trabajo que realizan y las expectativas que tienen respecto al experimento que están realizando.
- *Modo de presentar el tema*: el modo de representación es principalmente participativo (Nichols, 1997), ya que el documental está narrado en primera persona mediante el testimonio de los investigadores protagonistas: David Kaplan, Fabiola Gianotti, Martin Aleksa, Nima Arkani-Hamed, Savas Dimopoulos, Mónica Dunford, Mike Lamont, principalmente. Cada uno narra frente a la cámara sus expectativas y el trabajo que realizan en el CERN, o en otras instancias relacionadas con el experimento del LHC. Bajo esta forma narrativa el espectador es considerado un participante que ve, y escucha, lo acontecido en un lugar determinado gracias a la presencia de la cámara y el documentalista. Asimismo, posee un modo explicativo y estilo visual de efecto retórico (van Dijck, 2006), puesto que los investigadores explican (a cuadro o en voz *off*) en qué consiste su trabajo, y el experimento del LHC, mediante el uso de estrategias retóricas (como metáforas o anécdotas), con la finalidad de explicitar los procesos del trabajo científico que desempeñan.
- *Narrativa*: el documental consiste en un relato de hechos organizado cronológicamente, es decir cuenta una historia. Por otro lado, la posición de los narradores del relato es

homodiegética, es decir, son narradores protagonistas; por lo tanto los hechos son narrados en primera persona. Asimismo, dentro de los dos grupos de técnicas narrativas (simplificación de contenido y planteamientos antropomórficos) que menciona León (1999), *Particle Fever* despliega principalmente dos tipos de simplificación: tratamiento de cuestiones científicas complejas y reducción de dimensiones. Las técnicas dramáticas serán detalladas en el nivel de análisis formal histórico-cultural, apartado 3.2.3. (p. 81).

- *Protagonistas*: David Kaplan, Fabiola Gianotti, Martin Aleksa, Nima Arkani-Hamed, Savas Dimopoulos, Mónica Dunford, Mike Lamont. En la segunda sección de los anexos (páginas 232 a 240) se describen las intervenciones, a cámara y en voz *off*, de los protagonistas. Esta distinción tiene 3 objetivos: registrar el número de participaciones para saber quien lo hace en más ocasiones, y por más tiempo (e intentar discernir la razón de esto); segundo, distinguir las características de las intervenciones de cada uno para categorizar el rol que les fue asignado; y tercero, llevar a cabo un balance global sobre el tipo de información que aportan las intervenciones en el documental. A continuación se presenta un balance general.

David Kaplan

Interviene en 13 ocasiones a lo largo de los 99 minutos de duración del documental. En total, sus participaciones duran 18 minutos con 35 segundos, un 18.7% de la duración total del documental, y un 37.75% respecto a las intervenciones de los siete investigadores. Kaplan es el primer investigador que aparece a cuadro, en primera instancia no le habla directamente a la audiencia, lo vemos charlando con la persona detrás de la cámara (quizá el director y/o camarógrafo(a)) al tiempo que entra al experimento ATLAS del LHC. Posteriormente conversa con Fabiola Gianotti. Alrededor del minuto 3, Kaplan comienza a hablar a la audiencia, presenta el LHC y expone la importancia del experimento que se llevará a cabo; también introduce a Dimopoulos y sus planteamientos, hace lo mismo con Arkani-Hamed. Es Kaplan quien comienza el relato y guía a la audiencia a lo largo de 99 minutos, explica las implicaciones del trabajo científico, las teorías de la supersimetría, conceptos como el peso de la Higgs, entre otros.

Fabiola Gianotti

Hay sólo 3 intervenciones de Gianotti a lo largo de los 99 minutos de duración del documental. En total, su participación apenas es de 1 minuto con 58 segundos, corresponde a poco menos del 2% de la duración total del documental, y un 4% respecto a las intervenciones de los siete investigadores. Aunque Gianotti es la segunda investigadora que aparece a cuadro (al lado de Kaplan), no es la segunda en dirigirse a la audiencia. Su primer testimonio aparece hasta el minuto 12 (a pesar de que ya hemos observado el trabajo que desempeña en el CERN, específicamente en el experimento ATLAS) y relata brevemente su llegada al CERN décadas atrás. Aunque únicamente tiene tres intervenciones a cuadro y en *off*, la cámara la sigue constantemente, por lo que el público

puede apreciar la manera en que interactúa con el resto de los investigadores y personal del experimento ATLAS y del CERN. De los tres testimonios que brinda a cuadro, en dos habla sobre la importancia del arte, la literatura y la música, y se muestra como una persona multifacética que no sólo desempeña un trabajo científico, sino que también disfruta tocar el piano y leer, se aprecia como una mujer culta no sólo por su trabajo en ciencia (dentro de uno de los laboratorios más grandes e importantes del mundo), sino por su conocimiento y capacidad analítica en arte y literatura.

Martin Aleksa

Hay 4 intervenciones de Aleksa a lo largo de los 99 minutos de duración del documental. En total, sus intervenciones duran 1 minuto y 41 segundos aproximadamente. Las participaciones de Aleksa corresponden a menos del 2% de la duración total del documental, y un 3.2% respecto a las intervenciones de los siete investigadores. Aunque participa poco, Aleksa es presentado a cuadro en varias ocasiones mientras vive su rutina cotidiana, y en estas secuencias se aprecia que los investigadores tienen una vida familiar casi como cualquier persona, pero es también gracias a la convivencia con sus hijos que el espectador observa un experimento básico de física (Aleksa cubre con una tarjeta postal un vaso lleno de agua, lo pone de cabeza pero no se derrama a consecuencia de la presión que ejerce el aire sobre la tarjeta postal y el agua dentro del vaso), que ilustra la curiosidad del ser humano. Asimismo, Aleksa aparece trabajando en equipo, o en conversaciones con Dunford sobre el tan esperado resultado de los primeros datos de los experimentos.

Nima Arkani-Hamed

Hay 9 intervenciones de Arkani-Hamed a lo largo de los 99 minutos de duración del documental. En total, sus participaciones corresponden a 9 minutos con 27 segundos, esto es alrededor de 9.6% de la duración total del documental, y a un 19.3% respecto a las intervenciones de los siete investigadores. Arkani-Hamed es quien más habla sobre las inconsistencias del modelo estándar de la física, y sobre la necesidad de llevar a cabo el tan esperado experimento de la colisión para poder conocer más. Asimismo, explica a la audiencia la idea del multiverso en contraposición a la supersimetría, menciona algunas inconsistencias que existen en la física actual, y cómo el experimento arrojaría datos que ayudarían a resolver algunas dudas. Por otro lado, también comparte con la audiencia su origen iraní y el exilio que vivió cuando era pequeño. Es uno de los investigadores que mayor molestia y frustración expresa cuando el LHC es puesto en pausa debido a la fuga de helio, luce irritado ante el hecho de que el CERN haya realizado una presentación a los medios de un evento tan “insignificante” como poner en marcha el experimento.

Savas Dimopoulos

Hay 9 intervenciones de Dimopoulos a lo largo de los 99 minutos de duración del documental. Sus intervenciones alcanzan 7 minutos con 20 segundos, esto corresponde a 7.4% de la duración total del documental, y a 15.1% respecto a las intervenciones de los

siete investigadores. Igual que ocurre con el testimonio de Arkani-Hamed, Dimopoulos habla de su infancia y sus orígenes turcos, de cómo los problemas políticos y sociales que padeció junto a sus padres lo instaron a estudiar un área del conocimiento “libre de controversia”. A partir del comentario anterior (y de intervenciones subsecuentes) Dimopoulos revela parte de su manera de concebir la física (y quizá la ciencia en general), deja implícito que para él la física consiste en una búsqueda constante y paciente de “la verdad”, en donde el resultado no está hecho para satisfacer las creencias de un grupo en disputa con otro (como ocurre, por ejemplo, en la política), es “independiente y objetivo”. En su penúltima intervención (89:23-91:09) menciona que la masa de 125 GeV de la Higgs no excluye, ni confirma, ninguna de sus teorías (“...los datos son tan confusos que no excluyen ninguna de las teorías que realicé, pero tampoco las confirma”). Algunos comentarios de Dimopoulos revelan rasgos positivistas, pues considera que la ciencia es un área objetiva en la cual no interviene la decisión de grupos de poder. También habla de “leyes de la naturaleza”, como si se tratara de un objeto que existe *per se* en el mundo, y que los investigadores “descubren” y describen. Asimismo, emplea el término “confirmar”.

Monica Dunford

Hay 12 intervenciones de Dunford a lo largo de los 99 minutos de duración del documental. Estas participaciones duran aproximadamente 10 minutos, lo que corresponde al 10.1% de la duración total del documental, y a un 20.4% respecto a las intervenciones de los siete investigadores. A diferencia de Dimopoulos, Dunford no emplea expresiones con tintes positivistas (es decir, no habla de confirmación ni refutación). Por el contrario menciona el estatus cambiante de la física (ya que asegura que los resultados no son permanentes, y que habrá que “apagar el LHC, mejorarlo y ponerlo a trabajar después de algunos años” para esperar más datos).

Mike Lamont

Hay sólo 3 intervenciones de Lamont a lo largo de los 99 minutos de duración del documental, suman apenas 1 minuto, que corresponde al 1% de la duración total del documental, y a 2% respecto a las intervenciones de los siete investigadores. Lamont (junto con Gianotti y Aleksa) es uno de los investigadores que aparece en reuniones trabajando en equipo con otros miembros de la comunidad científica del CERN.

Las intervenciones a cuadro, y en *off*, de los siete investigadores asciende a 48 minutos con 56 segundos (casi 49 minutos). Es decir, casi la mitad del tiempo de duración del documental, 99 minutos, hay narración oral (en *off* y a cuadro) por parte de los investigadores. Kaplan es el investigador que aparece más veces y que habla por el mayor tiempo (tiene 13 participaciones que se prolongan hasta por 18’35”), le sigue Dunford (con 12 participaciones y 10’), en tercer lugar se encuentra Arkani-Hamed (quien aparece en 9 ocasiones, con un tiempo de 9’27”), después Dimopoulos (también con 9 participaciones que se extienden por 7’20”), Aleksa (con 4

participaciones a lo largo de 1'41''), Gianotti (interviene 3 veces con un tiempo de 1'58''), y por último Lamont (quien sólo habla en 3 ocasiones por únicamente 1').

En tanto que Kaplan es el investigador que aparece en mayor número de ocasiones, y quien habla por mayor tiempo (casi el 40% del tiempo destinado a narración oral, en *off* y a cuadro), se puede considerar que cumple la función de presentador y guía del documental. Lo anterior también se deduce a partir de la calidad de sus participaciones, ya que estas son, en su mayoría, descripciones o explicaciones de fenómenos. Sin embargo, no es un presentador formal, su participación más bien recuerda a un testigo que presencia un fenómeno desde dentro del ámbito en el que ocurre.

En *Particle Fever* predomina el modo participativo (Nichols 1997 y 2013), pues el documentalista observa a las personas en su contexto e interactúa con ellas por medio de entrevistas, es un observador. Los investigadores, protagonistas de la historia, son al mismo tiempo narradores que relatan los acontecimientos que ocurren a su alrededor. Es importante señalar que Dunford y Kaplan se grabaron a sí mismos en algunas de sus participaciones a cuadro, es visible que estas no fueron ante el equipo de filmación del documental, más bien se grabaron a sí mismos. Arkani-Hamed también tiene, aunque con menor frecuencia, el mismo uso personal de la cámara en al menos un par de ocasiones. Dimopoulos sólo lo hace en una ocasión. El resto de los investigadores que aparecen a cuadro fueron registrados por el equipo de filmación profesional. Una vez descritos los elementos de la estratificación, a continuación se presenta un catálogo con los componentes identificados en esta y en la estratificación.

f) Catálogo de los elementos identificados en la segmentación y la estratificación:

- Personajes, objetos y lugares
- Iluminación y color
- Cualidades materiales
- Animaciones y gráficos
- Monólogos y diálogos
- Banda sonora musical
- Composición fotográfica
- Movilidad de la cámara
- Montaje
- Elementos simbólicos
- Características de la filosofía y de la divulgación de la ciencia

g) Orden y jerarquía de los elementos identificados

En este apartado no sólo se observan los elementos de manera aislada, sino que se establecen las relaciones entre ellos, y se les asigna un orden. En la siguiente página se presenta un cuadro que describe los objetivos de cada nivel de análisis.

NIVEL FORMAL		
Formal analítico-descriptivo	Formal semiótico	Formal histórico-cultural
<p>Identificación y descripción de signos:</p> <p>Visuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Personajes, objetos y lugares - Iluminación y color - Cualidades materiales - Animaciones y gráficos <p>Sonoros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Monólogos y diálogos - Sonido directo y efectos sonoros - Banda sonora musical 	<p>Descripción de las relaciones que establecen los signos (visuales y sonoros) entre sí:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Composición fotográfica - Movilidad - Montaje 	<p>Reconocimiento y descripción del estilo: la manera en que signos visuales y sonoros se emplean de forma determinada en una cultura y época particular.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Técnicas narrativas - Técnicas dramáticas - Técnicas argumentativas
NIVEL SIMBÓLICO		
Simbólico analítico-descriptivo	Simbólico semántico	Simbólico histórico-cultural
<p>Identificación y descripción de símbolos en los signos visuales y sonoros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Personajes - Objetos - Lugares - Iluminación, color y cualidades materiales - Animaciones y gráficos - Diálogos, efectos sonoros y banda sonora musical 	<p>Descripción de la relación de los signos (visuales y sonoros) con sus referentes reales o imaginarios.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Composición fotográfica - Movilidad - Montaje 	<p>Significación específica de los símbolos en un momento histórico dado, en una sociedad determinada:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis de símbolos (identificados en el documental) en el contexto del relato mítico.
NIVEL NARRATIVO		
Narrativo analítico-descriptivo	Narrativo semántico	Narrativo histórico-cultural
<p>Descripción de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Personajes y acciones (y sus relaciones jerárquicas) - Situaciones de conflicto, <i>suspense</i> y resolución - Descripción de la representación de la ciencia 	<p>Descripción de la manera en que las unidades mínimas de significación, visual y sonora, se agrupan en motivos, y estos en temas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Síntesis, descripción y análisis de la narración del documental 	<p>Descripción de las prácticas del equipo de producción.</p> <p>Contexto histórico y cultural de producción y exhibición.</p> <p>Características importantes del trabajo científico en el documental.</p> <p>Descripción de la función social del documental de divulgación.</p>

h) Escaleta

Constituye un modelo simplificado del audiovisual con una breve descripción del contenido de cada escena. Esta se presenta en la tercera sección de Anexos (páginas 240 a 246).

3.2 Análisis formal

3.2.1. Formal analítico-descriptivo

Este nivel consiste en la identificación y descripción de los signos visuales y sonoros del documental.

Signos visuales:

- *Personajes*: David Kaplan, Fabiola Gianotti, Savas Dimopoulos, Nima Arkani-Hamed, Mónica Dunford, Martin Aleksa y Mike Lamont. Otra persona que aparece en el documental (sólo en la secuencia 24), y cuya presencia es importante para la narrativa es Peter Higgs. También se presentan otros investigadores que tienen un rango importante dentro del CERN, como Rolf-Dieter Heuer, Director General del CERN (secuencia 24); Lyn Evans, Director del Proyecto LHC (secuencia 9); Joe Incandela, Director del experimento CMS (secuencia 24); y Ricardo Barbieri, físico teórico de la Universidad de Pisa (secuencia 21). Asimismo, es importante mencionar la presencia de los medios de comunicación (secuencias 9, 12 y 23). Otras personas que no tienen tanto peso en la narrativa de la historia, pero que también cumplen una función, son: el equipo de investigadores que intenta resolver la fuga de helio, liderados por Mike Lamont (secuencia 14); y la familia de Martin Aleksa (secuencias 15 y 25). La vestimenta de los investigadores retratados es cotidiana, es decir, ropa común y corriente que usaría cualquier persona en la época actual. Una excepción de lo anterior es Mónica Dunford, quien (al final de la secuencia 15, del 49:42 al 51:00) aparece con bata, botas y casco de trabajo, entra a un cuarto con procesadores y muchos cables, lleva en la mano una caja grande (que también parece un procesador con entradas y salidas de cables), manipula pequeños dispositivos y sale de un compartimento debajo del piso. Al mismo tiempo ella misma relata que debe asistir al trabajo con ropa cómoda y estar preparada para ensuciarse.
- *Objetos*: Gran Acelerador de Hadrones (Large Hadron Collider), experimento ATLAS, imanes superconductores, supercomputadora y procesadores de datos del CERN, principalmente.
- *Lugares*: Ginebra, Suiza. Consejo Europeo para la Investigación Nuclear (CERN), dentro de este lugar se presentan a cuadro principalmente la sala de control, el cuarto donde están las computadoras que procesan datos, el túnel donde se ubican los tubos que contienen los haces de protón girando, el auditorio y las oficinas de algunos investigadores (Gianotti, Aleksa, Dunford). También aparecen la Universidad John Hopkins; el Departamento de Física (en Nueva York) de la Universidad Stanford; y el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton.

- *Iluminación y paleta de colores*: la iluminación es artificial en su mayoría, pues la fuente lumínica principal proviene de lámparas (y seguramente también rebotadores), que son dispuestos por el equipo de fotografía alrededor de la persona u objeto a retratar. En algunas escenas en exteriores los cinefotógrafos también aprovechan la luz natural (que proviene del sol), principalmente para retratar paisajes o bien a los personajes que se encuentran en exteriores; por ejemplo cuando Dunford corre o monta en bicicleta dentro del campus del CERN (secuencias 16 y 18), o cuando Kaplan y Arkani-Hamed contemplan y discuten sobre la obra de arte al exterior de un edificio en la Universidad de Princeton (secuencia 15). Por otro lado, respecto a la difusión de la luz, esta es fundamentalmente suave porque no proyecta sombras; es producida por una fuente de iluminación extensa pero de poca intensidad. Finalmente, la dirección de la luz es semilateral, más o menos a 45° de la persona a fotografiar, esto favorece que se aprecie el volumen y las texturas, pero al mismo tiempo impide que las sombras sean duras. Los aspectos anteriores (fuente, difusión y dirección de la luz) se pueden apreciar durante las entrevistas a los investigadores, que tienen lugar en lugares cerrados (oficinas u otros espacios dentro de los campus de investigación).

Por otro lado, el documental está filmado en color; no existe como tal una selección de colores predilecta, ya que, al tratarse de un documental, no hay colores predominantes intencionalmente (pues las personas, objetos, o lugares, filmados no fueron producidos de la misma manera en que ocurre con un film no documental). Esto no quiere decir que no haya habido un trabajo de preproducción, como el *scouting* (búsqueda de locaciones y selección de los lugares donde tienen lugar las entrevistas), simplemente se filmaron en su ambiente natural; el vestuario de las personas que aparecen a cuadro, es el que portan en su vida cotidiana, por lo que no hay colores que predominen de manera intencional.

- *Cualidades materiales*: el documental se filmó en formato digital, con un aspecto en proporción 16:9 (también denominado “panorámico”), y en alta definición (HD). Gran parte de las imágenes exhibidas son originales, es decir, se filmaron *ex profeso* para este documental. Sin embargo, también incluye algunas imágenes de archivo (*stock*) en ciertos momentos; por ejemplo cuando abordan la frustrada construcción de un LHC en Estados Unidos se muestran imágenes de congresistas estadounidenses sesionando en 1993 (06:32-07:13), este material quizá fue obtenido del acervo histórico audiovisual del congreso estadounidense; asimismo se muestran fotografías de las instalaciones a medio construir y abandonadas. También se exhiben imágenes de archivo de la transmisión televisiva de los medios sobre el comienzo del experimento (el 10 de septiembre de 2008, día del lanzamiento del primer haz de protones), y fotografías de portales de internet de CNN o *The Times* (25:02-25:30). Igualmente aparecen grabaciones (imágenes y audio original) del equipo del mismo CERN (26:14-26:28, 28:16-28:27 y 30:15-30:19, principalmente), que se pueden identificar porque en la esquina superior derecha de la pantalla aparece el logo de la institución. Hacia el final del documental también se hace uso de imágenes de los medios anunciando que los científicos lograron detectar la partícula Higgs (88:14-88:40), así como portadas de algunos periódicos alrededor del mundo.

De igual manera, se muestran capturas de pantalla del portal web de noticias del CERN, de CNN y *The New York Times* (77:24-77:41). Como ya se mencionó en la sección anterior, Dunford y Kaplan se grabaron a sí mismos en diferentes momentos (en su hogar, auto u oficina), es decir que sus testimonios no siempre fueron ante el equipo de filmación del documental, tenían una cámara propia y se grabaron a sí mismos en diferentes momentos para hablar del proyecto. Lo mismo ocurre, aunque con menor frecuencia, con Dimopoulos y Arkani-Hamed. Lo anterior es notorio debido a que la calidad de estas imágenes es ligeramente diferente (menos cuidado) al resto de las imágenes registradas *ex professo* por el equipo de filmación. La razón de lo anterior responde a cuestiones prácticas de la producción, en el sentido de que el equipo de filmación no podía estar todos los días a lo largo de la jornada laboral de cada uno de estos siete investigadores, esperando a que algo interesante ocurriera; una forma de solucionarlo fue darles una cámara y pedirles que grabaran relatos que ellos consideraran relevantes, y en el proceso de posproducción se revisaron y seleccionaron los momentos más significativos y/o que aportaban a la narración final.

- *Animaciones y gráficos*: A lo largo del documental se muestran 20 animaciones (3 de las cuales consisten en gráficos animados). En la cuarta sección del anexo (páginas 247 a 251) se enlista y describe cada una de las animaciones y gráficos. En conjunto tienen una duración de 12'37", representa apenas un 12.6% del total de 99 minutos del documental. La animación que mayor tiempo dura es la número 4, con 2'19", y consiste en la descripción (que realiza Kaplan en *off*) del modelo estándar y el recuento histórico de la identificación de las diferentes partículas desde finales del siglo XIX, así como la importancia que tiene la detección de la partícula Higgs. Las animaciones 2 y 3 contienen mapas; en la 2 se muestra la gran extensión del LHC, en la frontera entre Francia y Suiza, asimismo se hace hincapié en que este experimento es un esfuerzo que involucra a investigadores de varios países, finalmente también se ubica en el mapa a Dallas, estado norteamericano que estuvo a punto de ser sede de un LHC. Por otro lado, hacia el final de la animación 3 se muestra la ruta que siguen los datos que se obtienen a partir de las fotografías que toma el experimento ATLAS de las diversas colisiones, estos viajan hasta los servidores del CERN, y de ahí se reparten a diferentes puntos del globo terráqueo.

Las animaciones que consisten principalmente en gráficos (es el caso de las animaciones 12-16 que recién fueron descritas) no muestran demasiada información, es decir, el espectador puede leer el contenido casi en su totalidad durante el tiempo que aparece a cuadro. La afirmación anterior es válida únicamente en el caso de audiencia angloparlante, porque si el público no habla inglés, entonces leer la información a través de los subtítulos, y observar la gráfica al mismo tiempo, resulta complicado y definitivamente toma más tiempo del establecido.

Los signos sonoros son:

- *Diálogos*: la participación de los siete investigadores principales en este documental está representada principalmente mediante testimonios a cámara o en voz *off*. Es decir, cada uno de

los investigadores explica al espectador (a cuadro, o en *off*) aspectos diversos sobre los temas abordados. En menor medida hay diálogos entre sí mismos, o entre ellos y otros colegas (que no son los investigadores principales). Por medio de estos diálogos el espectador puede percibir la manera en que los investigadores se relacionan con sus colegas.

- *Sonido directo y efectos sonoros*: en general, la mayor parte del documental fue filmado con sonido directo (es decir, los diálogos y los sonidos fueron captados de manera simultánea a las imágenes). El empleo de efectos sonoros es muy sutil y únicamente es utilizado para enfatizar algunos momentos importantes. Por ejemplo, al inicio del documental, la primera vez que el experimento ATLAS se muestra a cuadro (02:11) la imagen consiste en un plano abierto y el ritmo está acelerado; sin embargo, el efecto sonoro de maquinaria pesada es añadido para acentuar o llamar la atención del espectador hacia este gran aparato. Estos efectos sonoros que remiten a gran maquinaria se repiten cada vez que el experimento ATLAS aparece a cuadro, pues ayuda a enfatizar la atención en este aparato. Por otro lado, en las animaciones y/o en los gráficos también se emplean efectos sonoros que ayudan a completar la idea que estos implementos visuales pretenden transmitir.

- *Banda sonora musical*: la música del tema principal (créditos iniciales, créditos finales y momentos álgidos de tensión narrativa) es original, escrita especialmente para este documental, está a cargo de Robert Miller, compositor cuyas obras han sido interpretadas por orquestas en diferentes partes del mundo; considerado uno de los mejores músicos de televisión y comerciales, entre sus trabajos más destacados se incluye la melodía del documental *Why we fight*, ganadora del gran premio del jurado en Sundance 2003⁴³. En el apartado 3.4.3., que consiste en el análisis narrativo histórico-cultural, se realiza una descripción más detallada de la formación y trayectoria profesional de Miller (páginas 131 y 132).

Por otro lado, la musicalización (bajo la supervisión de Tim Sternberg) contribuye a enfatizar cada momento dramático en el documental. Por ejemplo, el 10 de septiembre de 2008 (día de la prueba del lanzamiento del primer haz de protones) el director del proyecto, Lyn Evans, hace cuenta regresiva para lanzar el primer haz de protón, primero no ocurre nada, así que la música (27:23) remite a suspenso, o *thriller*, durante al menos 40 segundos, hasta que en plano detalle se muestra el monitor que detecta el haz, suena un pitido y la música cambia abruptamente a una tonalidad festiva, mientras los investigadores aplauden jubilosos.

Más adelante (37:18), nueve días después del lanzamiento del primer haz, un plano detalle de uno de los imanes superconductores, es acompañado por música aguda que remite a horror, pues refiere la fuga de helio. Esta misma tonada suena al menos en dos ocasiones más, cada vez que los investigadores discuten el arreglo al desperfecto.

⁴³ Notas de prensa de *Particle Fever* (2014), consultadas en:
<http://particlefever.com/downloads/ParticleFeverPressNotes.pdf>

El momento de mayor éxtasis musical ocurre el día de la primera colisión de los haces de protón. Mientras los investigadores están a la expectativa, mirando los monitores y grandes pantallas que darán cuenta de la colisión, comienza a sonar (64:18), en volumen casi imperceptible, la *Sinfonía n° 9 Op. 125 en Re menor (coral)* de Ludwig van Beethoven (1770-1827), y cuando ocurre la colisión la música aumenta de volumen en el momento más espléndido de esta pieza, también conocida como *Himno a la alegría*.

Finalmente, cuando Gianotti presenta los resultados del experimento que preside, la música original del documental comienza a sonar, de manera sutil, y prepara el terreno para el momento del gran resultado, pues la melodía va *en crescendo*, y remite a una revelación o epifanía, pero poco a poco desaparece cuando Gianotti anuncia la masa de la Higgs y todos aplauden. El momento más conmovedor, cuando Peter Higgs agradece y se muestra sorprendido de haber vivido este momento, se presenta sin musicalización. Aunque, posteriormente, cuando todos celebran y aplauden, la música se torna festiva.

3.2.2. Formal semiótico.

Consiste en la descripción de las relaciones que establecen los signos (visuales y sonoros) entre sí. Esta descripción remite a la composición fotográfica, la movilidad y el montaje:

- *Composición fotográfica*: la fotografía fue realizada por Claudia Raschke-Robinson y Wolfgang Held, cuya trayectoria en este campo se ha desarrollado por más de 15 años, principalmente en filmes independientes y documentales, varios de ellos ganadores de premios por mejor fotografía⁴⁴. En el apartado 3.4.3., que consiste en el análisis narrativo histórico-cultural, se describe la formación y trayectoria de ambos fotógrafos (páginas 130 y 131). La propuesta de encuadres e iluminación realizada por Raschke-Robinson y Held contribuye a puntuar el contenido narrativo que constantemente apela a tensión e incertidumbre. Como ya se comentó en el análisis formal analítico-descriptivo, las narraciones de los siete investigadores (a cuadro y en *off*) ascienden a 49 minutos, casi la mitad del tiempo de duración total del documental. Aunque cabe señalar que los investigadores no permanecen mucho tiempo a cuadro durante las entrevistas, porque a los pocos segundos su imagen desaparece y sólo queda voz *off*.

La mayor parte de los testimonios de los investigadores a cuadro fueron filmados en primer plano o en plano medio y con cámara fija; los investigadores no aparecen al centro del cuadro, sino ligeramente a la derecha (Gianotti, Dunford, Aleksa y Dimopoulos sólo hacia el final del documental) o izquierda (Kaplan, Arkani-Hamed, Lamont y Dimopoulos la mayor parte del tiempo). Sin embargo, cuando los investigadores se filman a sí mismos (como es el caso de Kaplan y Dunford) generalmente aparecen en primer plano y en el centro del cuadro. Cuando los investigadores interactúan con otras personas, se retratan en planos abiertos o en plano americano; si el cuadro está integrado por varios investigadores, se les retrata de cuerpo

⁴⁴ Información consultada en la página oficial del documental: <http://particlefever.com> el 30 de marzo de 2018.

completo. Cuando se muestran objetos de gran tamaño a cuadro (como el LHC o el experimento ATLAS), o se retratan paisajes y/o lugares, se emplean los planos abiertos para mostrar la espectacularidad del objeto o lugar. Finalmente, cuando se muestran objetos pequeños empleados por los investigadores (como computadoras, pizarrones, tabletas, monitores, etc.) generalmente se emplean planos detalle para que el espectador centre su atención en tal objeto. En pocas ocasiones aparecen investigadores junto con grandes aparatos tecnológicos. Por ejemplo, al principio del documental (05:05-5:11) aparecen Gianotti y Kaplan conversando frente al ATLAS, filmados en plano americano y con angulación contrapicada.

Por último, casi todos los planos fueron filmados con angulación frontal (principalmente los testimonios y diálogos entre investigadores); aunque los grandes aparatos, como el experimento ATLAS, se retrató con una angulación en contrapicada, para dar al espectador una sensación impactante de la gran altura de este. Finalmente, la inclinación de la cámara siempre fue normal, nunca se empleo la inclinación oblicua, ni la vertical.

- *Movilidad*: el movimiento profilmico (de las personas y objetos representados dentro del cuadro de la imagen) no abunda, de hecho la mayoría de los testimonios de los investigadores en primer plano carecen de movimiento (excepto por las gesticulaciones que hacen con el rostro). Cuando los investigadores aparecen a cuadro interactuando con otras personas y/o con objetos, el movimiento es medido. Inmediatamente después de los momentos de gran *suspense* (cuando hay una resolución del conflicto de manera positiva) los investigadores generalmente celebran, ríen, aplauden, se abrazan, bailan, etc. Cuando los investigadores son mostrados en su vida cotidiana, el movimiento también es el natural esperado; por ejemplo, en un par de ocasiones se muestra a Aleksa en casa, conviviendo con su familia (comiendo, jugando, conversando, etc.), o bien se muestra a Dunford ejercitándose (corriendo, remando, pedaleando, montando su bicicleta).

Respecto a los movimientos de cámara, se observa principalmente el uso del *travelling* (por ejemplo, cuando algún personaje es seguido por la cámara mientras camina, corre o va en bicicleta). Asimismo se emplea este recurso para recorrer una parte de la gran longitud que abarca el túnel donde se encuentran el tubo dentro del cual giran los haces de protón (consiste en un plano-secuencia que se hace con perspectiva de cámara subjetiva).

La *steady-cam* se emplea cuando los investigadores están conversando y/o trabajando con colegas (es decir, los cinefotógrafos siguen a los investigadores con cámara en mano). Por otro lado, *tilt up*, *tilt down*, *dolly in* y *dolly back*, se utilizan principalmente para mostrar a la audiencia el gran tamaño del experimento ATLAS, principalmente. En otro orden de ideas, en las animaciones y gráficos frecuentemente se emplean movimientos de cámara aparentes como *zoom in* y *zoom back*.

- *Montaje*: el ritmo narrativo del documental es rápido (prácticamente no hay momentos tediosos gracias al dinamismo del montaje), inserta al espectador en un estado anímico que genera grandes expectativas. Esta virtud es atribuible al trabajo de montaje y edición realizado por el veterano Walter Murch, quien ha sido editor y diseñador de sonido durante cinco décadas. En el apartado 3.4.3., que consiste en el análisis narrativo histórico-cultural, se describe la formación y trayectoria de Murch (páginas 132 y 133).

Particle Fever combina con gran destreza el montaje analítico⁴⁵ con el sintético⁴⁶, ya que los investigadores aparecen en encuadres de primer plano; sin embargo, hay también bastantes planos abiertos, sobre todo para mostrar el LHC, el ambiente laboral en el CERN y por supuesto los paisajes naturales que rodean a este instituto, (como los Alpes franceses, el campo franco-suizo y el campus interno del CERN). En ocasiones también aparecen paisajes y panorámicas que muestran el exterior y los alrededores del CERN. En general, el tiempo de duración de las tomas es breve, incluso cuando los investigadores aparecen a cuadro; la toma más larga es el plano-secuencia que tiene lugar del 20:51 al 21:08, y del 21:23 al 21:42. Como se ha comentado, el ritmo del montaje es dinámico, aunque hay momentos de descanso en que las tomas se extienden para que el espectador aprecie el contenido, por ejemplo cuando se muestran diversas escenas del experimento ATLAS y del túnel por donde corren los haces de protón (del 21:42 al 22:48), en esta secuencia la musicalización despliega un ritmo que remite a una grata sorpresa, o descubrimiento, acorde con la magnificencia de la estructura mostrada.

El tipo de asociación de imágenes que emplea el editor es principalmente por transitividad (nexo que ocurre cuando la imagen mostrada en el encuadre A se prolonga, o complementa, en el encuadre B). Asimismo el editor emplea un nexo por acercamiento, que consiste en la yuxtaposición de dos imágenes sin continuidad aparente (Casetti y di Chio, 2016). Los cortes son generalmente directos entre una imagen y otra, es decir no hay transiciones, ni efectos de puntuación visual como el fundido encadenado, el fundido a negro, la cortinilla, o el iris. Sin embargo, cuando se introducen animaciones, y/o gráficos, se emplea el fundido encadenado como transición, quizá para hacer más sutil el cambio de imagen real a animación (y viceversa). Hay pocos planos-secuencia (toma continua sin cortes de por medio): en la primera mitad del documental (20:53), cuando Dunford relata la primera vez que entró al experimento ATLAS, hay un plano-secuencia subjetivo con *steady-cam*, que dura 50 segundos (aunque está intercalado con el testimonio en primer plano de Dunford relatando su experiencia y mostrando su asombro) y da cuenta de la grandeza de esta enorme y detallada construcción.

A lo largo del análisis del montaje del documental observé que Murch utiliza una técnica peculiar que consiste en empalmar el audio en *off* (generalmente la voz testimonial de los

⁴⁵ El montaje analítico (o externo) se refiere a un montaje en el cual los encuadres consisten en planos cerrados (primer plano, primerísimo plano, y plano detalle) y principalmente de corta duración.

⁴⁶ El montaje sintético (o interno) se refiere a un montaje con encuadres de planos abiertos (panorámica, plano general, plano americano, plano medio, plano medio corto) y generalmente de larga duración.

investigadores) con las imágenes inmediatamente anteriores o posteriores. Esta estrategia ayuda a encadenar visual y auditivamente, agiliza la comprensión de lo que se muestra a cuadro, y también aporta dinamismo. Lo mismo hace con la música, cuando está presente una melodía, la continúa hasta la siguiente escena, y poco a poco la lleva a *fade*.

Como ya se comentó, la mayor parte del documental está guiado por monólogos de los investigadores a cuadro o en *off*. Hay momentos de silencio que ayudan a reflexionar sobre el contenido del discurso (ocasionalmente musicalizados). Cuando hay diálogos entre dos o más investigadores el sonido es también directo (como en los monólogos), cuando tiene lugar un momento de tensión o éxtasis generalmente es musicalizado (con un volumen adecuado para no opacar el diálogo) con banda sonora que aporta eficacia a la explicación. La banda sonora musical aporta agilidad y acompaña momentos trepidantes o álgidos, de *suspense* y de gran celebración. Un momento memorable tiene lugar con la colisión exitosa de los haces de protón, musicalizado con la *Sinfonía n° 9 Op. 125 en Re menor (coral)* de Beethoven (secuencia 19). En general, la combinación de los elementos sonoros (voces, sonidos directos, efectos sonoros y banda sonora musical) es equilibrada y ayuda a complementar adecuadamente cada momento para llamar la atención del espectador, sin ser invasiva.

Cuando existe un momento de tensión o incertidumbre la música remite a aberración, miedo o extrañeza. Por ejemplo, cuando Lyn Evans, director del proyecto LHC, se encuentra en la sala de control con otros científicos e inicia la cuenta regresiva para apretar el botón y lanzar el primer haz de protones (secuencia 9); o cuando se muestra el tubo que contiene la fuga de helio en los imanes superconductores (37:16-37:25); o cuando Dimopoulos relata la historia bíblica que su madre le contaba cuando era pequeño, sobre la idea de eternidad e infinito que le asustaba (53:01-54:44) y esa idea se encadena musicalmente con la explicación de Arkani-Hamed sobre el multiverso (54:44-56:44); a lo largo de este conjunto de escenas la musicalización unifica las ideas expuestas por ambos investigadores y les da un tono de perplejidad que, posteriormente, deriva en un gran desconcierto y hasta caos magnificado.

3.2.3. Formal histórico-cultural.

Este nivel consiste en el reconocimiento y la descripción del estilo, es decir, la manera en que los signos visuales y sonoros en conjunto (la composición fotográfica, la movilidad y el montaje) se emplean de una forma determinada en una cultura y época particular. *Particle Fever* es un documental que da cuenta de un aspecto de la realidad (un grupo de investigadores que trabajan en el CERN) interpretado desde la perspectiva del director (Mark Levinson), apela a las emociones del público a la vez que amplía su conocimiento y comprensión mediante el planteamiento de un problema (la puesta en marcha del gran acelerador de hadrones y sus implicaciones científicas y sociales), y soluciones dentro del campo científico. Asimismo, *Particle Fever* implica un tratamiento creativo de la realidad, pues Levinson logra mostrar, de manera atractiva, el intrincado trabajo científico que se realiza en este centro de investigación mediante personajes que son

mostrados en su vida cotidiana laboral y personal, que se alegran, se preocupan y se frustran, que muestran al público en qué consiste su trabajo y por qué es importante.

Aunado a lo anterior, *Particle Fever* se puede considerar un documental en modo predominante participativo, porque el director, Levinson, muestra a los científicos en su entorno laboral⁴⁷; y si bien no interactúa con ellos a cuadro, son ellos quienes hablan a la cámara (al espectador) para relatar en qué consiste el experimento a realizar en el gran acelerador de hadrones. Estas características son similares al *cinéma-vérité*, porque el documentalista expone una realidad que acontece cuando las personas interactúan en presencia de la cámara (Nichols, 2013).

Por otro lado, aunque Levinson ha declarado que no pretendía hacer un documental de ciencia⁴⁸ (y de hecho no tiene trayectoria en este campo), *Particle Fever* aborda un tema científico contemporáneo, participan investigadores en ciencia y se presentan instancias de investigación (universidades y centros); por tanto es posible clasificarlo como documental de divulgación de ciencia⁴⁹. A continuación retomo las técnicas narrativas, dramáticas y argumentativas propuestas por León (1999) para describir más elementos sobre el estilo de este documental.

- *Técnicas narrativas:*

El modo de expresión dominante en el documental es narrativo porque consiste en un relato de hechos organizado cronológicamente, es decir se cuenta una historia con una línea narrativa cronológica. Asimismo constituye un relato de experiencias narradas por los propios actores, por lo tanto la posición del narrador es homodiegética, en tanto protagonista de los hechos acontecidos. El punto de vista es primera persona porque se trata de narradores protagonistas. El tema narrado en *Particle Fever* muestra factores explícitos de interés como: actualidad, conflicto, interés humano e interés visual⁵⁰.

⁴⁷ El modo participativo apareció en los documentales alrededor de la década de 1960, con el surgimiento de las grabadoras de sonido sincrónico en locaciones. El documentalista dejó de ser sólo una voz *off*, ya no solo observaba a las personas retratadas, comenzó a interactuar con ellas mediante entrevistas o conversaciones (similar a lo que ocurre en los estudios antropológicos), y de esta manera brinda al espectador la sensación de estar en una situación determinada (Nichols, 2013, pp. 208 y 209).

⁴⁸ En una entrevista Levinson declaró que al conocer a Kaplan le advirtió que no quería hacer “un documental de ciencia que explicara la física de partículas, sino un drama con buenos personajes en el que pudiera desarrollar sus habilidades narrativas” (McCabe, 2014).

⁴⁹ Retomo los elementos de documental de ciencia que menciona León (2008), para quien el documental científico consiste en obras audiovisuales que “tratan sobre asuntos centrados en resultados de investigación, hechos o conocimientos relacionados directamente con alguna disciplina de la ciencia o argumentación basada en conocimientos científicos” o “muestra explícitamente (en la imagen, la narración o los títulos de crédito) que han contado con la colaboración o el aval de expertos o instituciones científicas, que han participado como fuentes de información o asesores de contenido” (p. 12). Por otro lado, Salcedo (2010) considera que también deben incluir estructuras narrativas y herramientas visuales destinadas a la comprensión, interés, concienciación, formación de criterio y entretenimiento del público (p. 46). Todos los elementos descritos se encuentran en *Particle Fever*.

⁵⁰ La propuesta de modo de expresión, posición del narrador, punto de vista, línea narrativa y factores de interés fueron retomados de criterios planteados por León para integrar una ficha de análisis de documentales científicos (León *et al.*, 2010, pp. 19 y 20).

Aunado a lo anterior también es posible apreciar la simplificación de contenido, es decir la exposición de un tema científico complejo en términos sencillos por medio de: eliminación de términos científicos complejos, supresión de controversias y reducción de dimensiones. En *Particle Fever* se mencionan varios términos complejos, algunos son explicados (aquellos que resultan importantes para la trama, como: gran acelerador de hadrones, física teórica, física experimental, modelo estándar de partículas, bosón de Higgs, supersimetría, multiverso, entre otras), pero otros no (quarks, masa, imán superconductor, materia oscura, datos, leyes naturales, entre otros). Por otro lado hay supresión de controversias, por ejemplo cuando se habla de las teorías del multiverso y de la supersimetría, se deja fuera que los planteamientos alrededor del multiverso no son del todo aceptados por la comunidad científica, pero esta controversia no es mencionada en el documental, sólo se presentan como “teorías” que están confrontadas (tampoco se aclara al público que en realidad no se trata de teorías, sino de hipótesis que aún aguardan ser probadas y aprobadas por la comunidad científica). El documental también presenta reducción de dimensiones porque, de entrada, se reduce un período de 5 años a 99 minutos. Asimismo hay elipsis temporales (de la noche al día, de una semana a la otra, de un mes al otro, de un año al otro), que se hacen patentes por medio de referencias calendáricas. El empleo de gráficos también constituye una reducción de dimensiones, por ejemplo en la animación 3 Dunford explica en qué consiste el experimento del LHC, y la enorme circunferencia de 27 kilómetros se reduce a unos cuantos milímetros en la animación.

En el documental se mencionan momentos importantes en la historia de la física, por ejemplo en el minuto 17’27” Kaplan explica en qué consiste el estudio de partículas, y hace un recuento histórico breve de las investigaciones más destacadas sobre el modelo estándar, y las partículas descritas en este. Mientras Kaplan hace su relato en *off*, aparecen a cuadro fotografías de los científicos que han contribuido al estudio de partículas. En otro orden de ideas, en el documental también se menciona el trabajo científico como parte de la cultura. Por ejemplo, en el minuto 89’30” Dimopoulos asegura que la detección de la partícula Higgs lo enorgullece, no sólo por pertenecer a la comunidad científica, sino porque es un logro de la humanidad; es decir, asume que los investigadores son parte de una sociedad, de una cultura que se enriquece con los nuevos descubrimientos. Con base en lo anterior se puede afirmar que *Particle Fever* es un documental con un nivel de contextualización media⁵¹, principalmente histórica y cultural.

La narrativa también refiere la manera en que se cuenta la historia por medio de las herramientas de cámara y edición, es decir los encuadres, las angulaciones, los movimientos físicos y aparentes de cámara, así como los cortes, disolvencias, y otros elementos. Como ya se detalló en el análisis formal semiótico (cuando se dio cuenta de la composición fotográfica), en *Particle Fever* se muestran las entrevistas con los investigadores en primer plano, y en plano medio, con angulación frontal y sin movimientos de cámara reales o aparentes. Cuando se muestran imágenes tecnomórficas (objetos tecnológicos de gran tamaño, como el experimento

⁵¹ Retomado de criterios planteados por León para integrar una ficha de análisis de documentales científicos (León *et al.*, 2010, p. 21).

ATLAS), se emplea plano abierto y angulación contrapicada (que resalta el gran tamaño del aparato), algunas veces también se emplean *tilt ups*, *tilt downs* y *travellings* para fotografiar al mismo. Cuando se detallan imágenes semiomórficas (textos producto del trabajo científico, como ecuaciones escritas en pizarrones, hojas de papel, computadoras o *tablets*), se hace mediante plano detalle. Finalmente, otra característica de los documentales (en general) es el empleo de la *steady-cam*, que facilita el seguimiento de los personajes en su contexto cotidiano.

Otro elemento fundamental en la narrativa de documentales de divulgación, es el uso de animaciones y gráficos que ayudan a explicar un tema complejo. A lo largo de *Particle Fever* se emplean 15 animaciones (animaciones 1 a 11 y 17 a 20 de la cuarta sección de Anexos, páginas 247 a 251) y 5 gráficas animadas (animaciones 12 a 16 también en los Anexos, página 250). La información que se presenta en estos últimos es más o menos sencilla, en el sentido de que no muestran demasiada información, el espectador puede leer el contenido casi en su totalidad durante el tiempo que aparece a cuadro⁵². Animaciones y gráficos tienen una duración total de 12'37" (apenas un 12.6% del tiempo de duración total del documental). La animación más larga es la número 4 (2'19") donde Kaplan describe, en *off*, el modelo estándar y lleva a cabo el recuento histórico de la identificación de las diferentes partículas desde finales del siglo XIX, así como la importancia que tiene la detección de la partícula Higgs. Las animaciones 2 y 3 contienen mapas. El resto de las animaciones ilustran y especifican detalles complejos que son explicados en *off* por los investigadores. Los diferentes encuadres y las animaciones son acoplados por medio del montaje, que es principalmente por transitividad (nexo que ocurre cuando la imagen mostrada en el encuadre A se prolonga, o complementa, en el encuadre B). Asimismo, Murch lleva a cabo el nexo por acercamiento (yuxtaposición de dos imágenes sin continuidad aparente) y empalma el audio en *off* de los investigadores con las imágenes inmediatamente anteriores o posteriores. Esto además de constituir un encadenamiento ágil, visual y auditivamente, facilita la comprensión de lo que se muestra a cuadro.

Finalmente, *Particle Fever* presenta un modo narrativo expositivo con estilo visual de efecto realista, de acuerdo con la clasificación de van Dijck (2006), pues consiste en un documental que apela al espectador por medio de la presencia, y la voz *off*, de varios científicos expertos en física de partículas que, en conjunto, guían al espectador. En tanto que los investigadores son presentados con los cargos que ocupan en instituciones académicas científicas, se entiende que son autoridades en física de partículas y, por tanto, avalan la información mostrada en el documental.

Algunos de los protagonistas de *Particle Fever* encuentran correspondencia con la clasificación de roles científicos propuesta por Silverstone (1984), por ejemplo Kaplan podría identificarse con el rol de científico como intérprete, pues frecuentemente se muestra en un contexto

⁵² Esto es válido únicamente en el caso de audiencia angloparlante, porque si el público no habla inglés, entonces leer la información en los subtítulos, y observar la gráfica, al mismo tiempo resulta complicado y toma más tiempo del preestablecido.

significativo para él, pero que debe descifrar para la audiencia. Por otro lado, Gianotti podría representar el rol de científica como demostradora, en tanto que presenta los resultados del experimento en el episodio final del documental. Otro ejemplo de científica como demostradora es Dunford, quien también aparece exponiendo a sus colegas gráficas y otros datos; asimismo encaja en el rol de científica como obrera (en la secuencia 15) porque aparece revisando el cableado de una sala de computadoras. Por otro lado, Arkani-Hamed y Dimopoulos podrían identificarse como científicos pensadores, porque aparecen escribiendo ecuaciones, es decir, produciendo conocimiento. En el apartado 3.4.1., del nivel narrativo analítico-descriptivo, se describen detalladamente los roles de cada protagonista (páginas 112 a 117).

- *Técnicas dramáticas*

Los recursos dramáticos apelan a los valores emocionales del público, así que ayudan a estructurar y ordenar la información de una manera comprensible (León *et al.*, 2010). Existen tres elementos constitutivos de las técnicas dramáticas: a) la construcción de un relato⁵³ (lineal o con una estructura dramática); b) la consideración de los seres reales como personajes; y c) los elementos de conflicto y *suspense* (León 1999). En *Particle Fever* hay una construcción dramática del relato que utiliza como *leitmotiv* la búsqueda de la verdad (León, 2010).

Por otro lado, Levinson presenta a Kaplan, Gianotti, Dimopoulos, Arkani-Hamed, Dunford, Aleksa y Lamont (personas reales) como personajes que llevan a cabo acciones que constituyen el hilo conductor del documental. Aunque a primera vista parecería que Levinson evita encasillar a los personajes en héroes o villanos, al final cae en esta fórmula dicotómica, pues los personajes retratados forman parte de un mismo equipo (los científicos), que en ocasiones sufre el acecho de los medios de comunicación que están a la expectativa de que los primeros comentan un error para hacer escarnio de su comunidad. Lo anterior podría constituir un elemento que ayude a que el público desarrolle afinidad por los protagonistas, al tiempo que aumenta la tensión en el relato.

Finalmente, los elementos de conflicto y *suspense*⁵⁴ son diversos en *Particle Fever*. Los protagonistas de Particle Fever tienen por objetivo lograr que el LHC se ponga en marcha y arroje datos que les ayude a alcanzar diversos objetivos (comprender mejor las leyes básicas de la naturaleza, completar el modelo estándar de la física, detectar la partícula bosón de Higgs). Sin embargo, en el camino se les atraviesa un conflicto: la fuga de helio en los imanes superconductores, situación que logran resolver después de varios meses de trabajo en equipo. El *suspense* tiene lugar en al menos tres situaciones: el lanzamiento del primer haz de protones

⁵³ Es preciso recordar que para León un relato constituye la representación coherente y secuencial de una historia, de un conjunto de acciones (reales o ficticias) que ocurren en un tiempo anterior a la narración (León, 1999, p. 120). Aunado a esto, Feldman (en León, 1999, p. 122) distingue entre los relatos lineales y aquellos que adoptan una estructura dramática (en que se abre, desarrolla, y cierra un conflicto). La historia es un hilo narrativo que orienta al espectador y facilita el contenido del relato.

⁵⁴ El *suspense* se refiere a la espera impaciente de algo que sucederá dentro del relato, la duda que se genera en el público por saber si el personaje cumplirá, o no, su objetivo (Field, 1996, p. 67).

(secuencia 9), la primera colisión de haces de protón a alta energía (secuencia 19), y la presentación de la segunda ronda de datos que revela la masa de la partícula bosón de Higgs (secuencia 24). En el apartado 3.4.1., que consiste en el análisis narrativo analítico-descriptivo, se extiende la explicación sobre el conflicto y los momentos de *suspense* en la narrativa (páginas 119 y 120).

- *Técnicas argumentativas*

Estas técnicas incluyen modos retóricos que pretenden persuadir⁵⁵ al espectador. En *Particle Fever* los protagonistas son personajes de diferentes culturas, nacionalidades, edades y personalidades, lo que ayuda a que el público sienta afinidad por alguno de ellos (lo que comúnmente se conoce como identificarse con el personaje). Esta afinidad es uno de los elementos retóricos que ayuda a seducir al espectador.

Otro de los modos retóricos en este documental es el epidíctico, pues el relato trata de convencer al espectador de que el experimento en el LHC, y el enorme gasto que implicó, operó con éxito y alcanzó uno de los objetivos principales: detectar la partícula bosón de Higgs. En los primeros 20 minutos del documental (secuencia 7) se apela a las virtudes de la ciencia básica (cuando Kaplan menciona que esta no siempre arroja resultados, o tecnología, que beneficie a la sociedad de una manera inmediata y específica) que constituye un gran aporte al conocimiento. Otro elemento de argumentación es la reputación y competencia encarnados en los protagonistas, de manera que sus declaraciones (lenguaje y voz), así como su presencia (vestimenta, postura, lenguaje corporal), resultan fundamentales para transmitir confianza y credibilidad. Inicialmente la credibilidad y la confianza de los protagonistas se asientan al momento en que se presenta su ocupación o cargo en alguna instancia académica, es decir, su pertenencia a una institución les otorga cierto prestigio y les dota de competencia en el tema abordado. Finalmente, una de las figuras retóricas afectivas mayormente empleada en *Particle Fever* es el símil, por ejemplo cuando Dunford (secuencia 6) describe el LHC como “el más básico de los experimentos, lo que cualquier niño diseñaría: tomas dos cosas y las haces chocar una contra otra”. Esta imagen sencilla y cotidiana logra que el público comprenda una idea compleja con una experiencia de su contexto cotidiano.

Con base en la descripción de técnicas narrativas, dramáticas y argumentativas, es posible afirmar que *Particle Fever* reúne a un equipo de trabajo único, que no tiene en su currículum experiencia específica en producciones de divulgación de ciencia; pero que sí posee una vasta experiencia filmográfica. La orquestación de los profesionales corre a cargo de Mark Levinson, fue su experiencia lo que llevó a buen puerto el resultado final pues reunió al equipo necesario para lograr un buen relato. Lo que hace diferente a *Particle Fever*, de otros documentales de ciencia, es que no fue pensado como documental de divulgación, sino como un relato con

⁵⁵ La persuasión ocurre cuando un orador logra la identificación del público con la causa que defiende. Esta identificación significa apelar a una creencia común (Azevedo, 2010, p. 84).

personajes interesantes, no se centró en la ciencia como tal, sino en las personas que trabajan en ella, en los científicos (sus intereses, preocupaciones, expectativas) y su contexto.

Particle Fever se parece en algunos aspectos al documental estadounidense *Naturally Obsessed: the making of a scientist* (2009)⁵⁶, dirigido por Richard y Carole Rifkind, de hecho en los créditos, en el apartado de agradecimientos, se menciona a Carole Rifkind. El documental de los Rifkind relata la ansiedad, el cansancio, la frustración y el constante estrés al cual están sometidos tres estudiantes de doctorado en un laboratorio de biología molecular de la Universidad de Columbia. También muestra la constancia, las habilidades, el proceso creativo y el trabajo en equipo, así como las diferentes etapas y herramientas que emplean en el proceso de investigación. Tiene lugar una comparación entre la ciencia y el arte, pues el líder del laboratorio (el Dr. Lawrence Shapiro) asegura que los estudiantes son como aprendices de violín a quienes se les dificulta encontrar una técnica para “expresar su arte de manera adecuada”, y entre más se esfuercen y repitan el proceso, más cerca estarán de alcanzar el nivel de sus maestros. En otra parte del documental se observa a uno de los estudiantes de doctorado aseverar que invirtió dos años y medio de trabajo en algo que resultó infructuoso. Los elementos anteriores (comparación entre ciencia y arte y el tiempo invertido en algo que probablemente sea en vano) también están presentes en *Particle Fever*, por lo que parece probable que Levinson se haya inspirado no sólo en su propia experiencia (como estudiante de doctorado en física), sino en *Naturally Obsessed* para acentuar estos elementos en *Particle Fever*.

Por otro lado, *Particle Fever* también posee rasgos sociológicos y recuerda un poco *La vida en el laboratorio: la construcción de los hechos científicos* (Latour y Woolgar, 1995), pues muestra a los investigadores en su entorno laboral. Este libro describe los principales hallazgos del estudio antropológico realizado entre octubre de 1975 y agosto de 1977 en un laboratorio del Instituto Salk de Estudios Biológicos. La estrategia de Latour consistió en “convertirse en parte del laboratorio”, seguir de cerca procesos cotidianos del trabajo científico, mantenerse como observador “externo” que estaba “dentro”, una especie de indagación antropológica para estudiar la cultura científica. Para llevar a cabo lo anterior, Latour tuvo libre acceso a la mayoría de las discusiones, todos los archivos, artículos y demás documentos del laboratorio. Asimismo, los investigadores dentro del laboratorio tenían claro que se tomaban notas sobre todo lo que sucedía en su lugar de trabajo. En este sentido, cabe recordar que el modo participativo que, de acuerdo con Nichols (2013), apareció en los documentales alrededor de la década de 1960 (previo al análisis de Latour y Woolgar) y que consistía en observar y entrevistar a personas dentro de un entorno específico, similar a los estudios antropológicos.

⁵⁶ Este documental muestra a tres estudiantes que realizan sus estudios de doctorado en el laboratorio de biología molecular del Centro Médico de la Universidad de Columbia, bajo la coordinación del Dr. Lawrence Shapiro. El trabajo de los estudiantes consiste en descomponer y describir la molécula de una proteína, para lograrlo deben trabajar con una máquina de cristalografía de rayos x. Documental consultado el 11 de abril de 2019 en <https://www.thirteen.org/naturally-obsessed/>

3.3. Análisis simbólico

Esta etapa consiste en identificar y describir símbolos, arquetipos y mitos presentes en *Particle Fever*. Los símbolos son originados a partir de arquetipos, que constituyen formas mentales innatas producto de la herencia evolutivo biológica del ser humano, se producen en cualquier tiempo y lugar del mundo (Jung, 1995 y Amador, 2017) y se expresan en forma de mitos. A pesar de la distancia y el contexto cultural divergente, los relatos míticos comparten ciertos rasgos comunes.

3.3.1. Simbólico analítico-descriptivo

Consiste en la identificación y descripción de los símbolos encontrados en los signos visuales y sonoros que conforman *Particle Fever*: personajes; objetos; lugares; iluminación, color y cualidades materiales; animaciones y gráficos; diálogos, efectos sonoros y banda sonora musical.

- Identificación de símbolos en personajes:

Los siete investigadores que protagonizan el documental (David Kaplan, Fabiola Gianotti, Nima Arkani-Hamed, Savvas Dimopoulos, Monica Dunford, Martin Aleksa y Mike Lamont) se pueden clasificar en físicos teóricos (Kaplan, Arkani-Hamed y Dimopoulos) por un lado, y físicos experimentales (Gianotti, Dunford, Aleksa y Lamont) por otro. Desde el inicio del documental los mismos protagonistas establecen esta diferencia, y a lo largo del documental se puede observar que su dinámica laboral es un poco diferente (pues mientras los experimentales suelen trabajar en equipo, a los teóricos se les ve trabajando en solitario, lo cual no quiere decir que no tengan vida social). Asimismo, las acciones que desempeñan ante la cámara también son diferentes: mientras Kaplan, Arkani-Hamed y Dimopoulos aparecen frecuentemente escribiendo fórmulas matemáticas en un pizarrón, en un cuaderno, o dando clases; a Dunford se la ve revisando y arreglando cables en el cuarto de computadoras (aunque también aparece trabajando en su computadora). Tanto a los físicos teóricos como a los experimentales se les ve conviviendo con colegas y compartiendo opiniones sobre su trabajo y sus expectativas sobre el LHC. Cada uno de estos siete investigadores tiene características diversas y conocemos parte de su contexto, así como aquello que los motivó a dedicarse a la labor científica. A continuación describo características físicas y apariencia (vestuario, bisutería, posturas) de los siete investigadores para discernir características simbólicas en su vestir y actuar.

David Kaplan, es un hombre estadounidense de aproximadamente cuarenta años, de complexión delgada, tez blanca, cabello negro rizado y largo a la altura de los hombros, en algunas ocasiones lo lleva suelto, en otras lo sujeta en una coleta. Tiene barba y bigote ligeramente crecidos y con algunas canas. Usa lentes delgados y discretos. Generalmente aparece vestido con ropa casual, pantalón de vestir en colores claros (caqui o azul) y pantalones de mezclilla; asimismo porta camisas sport de manga larga en colores oscuros (negro). En algunas ocasiones también lleva puesta una chamarra delgada. Algunas veces, cuando habla a la cámara, luce camisas de vestir de manga larga en colores claros. Sólo al inicio del documental,

en la secuencia 2, aparece usando casco. Aunque lleva el cabello largo y la barba crecida, su aspecto es aseado. A lo largo de todo el documental habla inglés, su lengua materna, su expresión verbal es reflexiva, pausada y fluida, emplea palabras sencillas, y cuando dice tecnicismos procura explicarlos; asimismo emplea lenguaje coloquial. Expresa ideas claras y concisas. Al principio del documental aparece de pie conociendo el ATLAS, posteriormente también aparece de pie, impartiendo una conferencia, y luego escribiendo ecuaciones en el pizarrón.

Fabiola Gianotti es una mujer italiana, doctora en física de partículas, tiene aproximadamente cincuenta años, su complexión es delgada, tez blanca, cabello negro crespo y corto a la altura de la barbilla, hacia el final de documental lo lleva a los hombros, siempre suelto. Su maquillaje es discreto (mascara para pestañas, delineador de ojos, rubor y labial). La primera vez que aparece es en la secuencia 2, porta ropa casual, pantalones de mezclilla azul claro, suéter rojo y chaleco blanco, lleva un gafete de identificación y casco blanco. En su segunda aparición luce una suéter rojo tejido y grueso, del lado izquierdo porta un prendedor dorado; luce un collar con piedras, aretes medianos con una perla, también utiliza un reloj pulsera pequeño. Cuando se muestran imágenes en *stock* de Gianotti en sus primeros años como doctoranda del CERN, se la ve con el cabello un poco más largo, aunque recogido en una coleta. Asimismo porta una blusa roja y un collar de cuentas oscuras. Generalmente aparece vestida con suéteres y pantalones de vestir, predomina el color rojo en las prendas superiores, y colores oscuros en la parte baja. En la secuencia 11, cuando toca el piano, luce una blusa tejida color mostaza, de manga corta, sobre ella se aprecia un prendedor dorado; lleva pantalones de vestir color café y un collar de perlas. Generalmente usa prendedores en sus blusas o suéteres, siempre lleva los mismos aretes medianos con perlas, collares también con perlas o piedras, y reloj pulsera. Su apariencia es elegante y discreta, bien aseada. Sólo en una ocasión, al inicio de la secuencia 12, aparece vestida con una sudadera amarilla, aunque encima lleva una gabardina café. Habla italiano (su lengua materna), francés e inglés. Generalmente habla de prisa y algunas veces bromea, y ríe de sus propias bromas, casi siempre luce risueña y amable (aunque en algunas secuencias, 9, 12 y 18, luce preocupada). Aunque emplea palabras sencillas las explicaciones que proporciona a la audiencia tienen cierto grado de complejidad. Generalmente aparece de pie, caminando y platicando con otros investigadores, organizando y dirigiendo. En la secuencia 23 expone los resultados del ATLAS, experimento que ella coordina, su postura es diligente, profesional, elocuente, elegante y amable; hacia el final de la exposición, cuando presenta el peso de la Higgs, se aprecia entusiasmada.

Monica Dunford es una joven mujer norteamericana de complexión ligeramente gruesa, tez blanca, cabello castaño lacio y corto, peinado hacia atrás con pasadores o en una coleta. No usa maquillaje ni joyería. Generalmente usa blusas de manga corta en colores claros (a veces lleva suéteres delgados oscuros) y pantalones de vestir. En varias ocasiones se muestra portando, o cargando en la mano, un casco. Hacia el final de las secuencias 14 y 25 aparece con ropa deportiva: tenis, shorts, camiseta y pañoleta en la cabeza. En tanto que porta ropa casual, no usa

maquillaje ni joyería alguna, luce sencilla, con una actitud jovial y despreocupada. Hacia el final de la secuencia 15 aparece con una bata larga de trabajo en color azul, asimismo porta pantalones oscuros, botas negras y casco color blanco. A lo largo del documental habla siempre en inglés (su lengua materna), su expresión verbal es casi siempre entusiasta, suele establecer analogías y metáforas que amenizan y aligeran el contenido de sus observaciones. Habla con palabras sencillas y fáciles de comprender, cuando menciona tecnicismos generalmente los describe y explica. Casi siempre se muestra risueño y entusiasta, gesticula y hace ademanes con las manos al tiempo que habla. Generalmente aparece caminando de un lado a otro, realizando acciones diversas, conversando con colegas, revisando datos en su computadora, revisando cables, etc.

Nima Arkani-Hamed es un joven iraní nacionalizado canadiense, de treinta y tantos años, complexión ligeramente robusta, tez blanca, cabello negro, lacio, escaso y ligeramente largo a los hombros (frecuentemente luce despeinado), sin barba ni bigote. Su vestimenta es casual y holgada: pantalones de mezclilla y camisas de manga larga en colores principalmente oscuros, su calzado también es casual y juvenil. A lo largo del documental habla en inglés (idioma que aprendió desde pequeño), sus expresiones lingüísticas son cautas, piensa antes de emitir una opinión, tartamudea un poco y con ello denota un poco de inseguridad. Sus gestos y lenguaje corporal denotan ansiedad, parpadea con mayor frecuencia que el promedio de las personas, se muestra serio y meditabundo. Generalmente aparece de pie, frente al pizarrón, aunque durante las entrevistas permanece sentado.

Savas Dimopoulos es un hombre griego nacido en Turquía, ronda la década de los sesenta, es de complexión robusta, tez clara y cabello cano, corto y lacio; no lleva barba ni bigote, usa lentes delgados y discretos. Aparece por primera vez, en la secuencia 4, conversando con Kaplan, también se ve impartiendo clases en la universidad. Su vestimenta es formal sin ser demasiado elegante, usa pantalones y camisas de vestir de manga larga, en colores principalmente oscuros. Sólo en un par de secuencias porta ropa más casual (shorts y camisas tipo polo). Siempre luce aseado y discreto en su manera de vestir, su ropa siempre está planchada y su cabello bien peinado, en algunas ocasiones porta un reloj en la muñeca derecha. Durante el documental habla principalmente en inglés aunque, debido a que no es su lengua materna, se percibe un marcado acento extranjero. Su lenguaje es claro y conciso, relata historias de una manera entretenida, habla pausada y cuidadosamente. Se muestra amable y prudente, casi no bromea. Por lo general aparece sentado, trabajando en su computadora, escribiendo en una hoja de papel, o en su computadora, pensando y escribiendo ecuaciones. También se muestra en un par de ocasiones paseando (secuencias 11 y 21) y conversando con colegas.

Martin Aleksa es un hombre austriaco de aproximadamente 50 y tantos años, complexión delgada, tez blanca, cabello escaso oscuro, corto y cano. Generalmente se viste casual con pantalones de mezclilla y camisas con mangas largas y cortas. Porta un anillo matrimonial en el

dedo anual de la mano izquierda, también lleva un reloj en la muñeca de la misma mano. A lo largo del documental habla en alemán (su lengua materna), francés e inglés, aunque su expresión oral en inglés es bastante fluida y confiada se nota ligeramente el acento extranjero. Generalmente aparece interactuando con otros investigadores, y es el único investigador que es mostrado en su ámbito familiar, comiendo y jugando con sus hijos.

Mike Lamont es un hombre inglés de cincuenta y tantos años, tez blanca, cabello castaño, corto y abundante. Utiliza lentes de grosor mediano. La primera vez que se muestra en pantalla es en la secuencia 19, usa una camisa polo en color azul cielo. En el resto de sus apariciones luce ropa casual, pantalones de mezclilla y camisas de manga larga. A lo largo del documental habla en inglés (su lengua materna) de manera fluida y confiada, es discreto y poco expresivo. En las pocas apariciones que tiene luce preocupado, aunque hacia el final de la secuencia 19 se aprecia sonriente y alegre.

La mayor parte del personal del CERN que ocasionalmente aparece en el documental viste de manera casual, con pantalones de mezclilla y camisas de vestir o casuales, mangas largas o cortas, camisetas polo. Casi nadie viste formalmente, tampoco portan batas. En los eventos importantes, como la presentación de resultados de los experimentos ATLAS y CMS, el director general del CERN, Rolf-Dieter Heuer, está vestido de traje, también Joe Incandela, director del experimento CMS.

Algunos investigadores en *Particle Fever* poseen rasgos de estereotipos. Mientras que el arquetipo se refiere a representaciones colectivas, es decir contenidos psíquicos de elaboración no consciente (Jung, 1970), el estereotipo consiste en una conceptualización mental producto de abstracciones basadas en la repetición de representaciones que sintetizan a personas de acuerdo con una característica predominante (Mecalco, 2019)⁵⁷. El estereotipo del científico más socorrido en los medios es el de un hombre excéntrico. Alice Roberts (British Science Association, 2017)⁵⁸ considera que el estereotipo del científico loco se construyó a partir de la imagen de Albert Einstein, el doctor Emmett Brown (personaje de la película de *Back to the future*) y el profesor Heinz Wolff (científico británico nacido en Alemania que fue un exitoso presentador de programas de ciencia en radio y televisión); aunque este último personaje no es tan conocido en México existieron otras figuras similares, como Beakman (interpretado por Paul Zaloom) del programa estadounidense *Beakman's World* (1992-1998), muy popular en nuestro país en la década de los noventa. Estos personajes aportan elementos físicos propios del

⁵⁷ Azucena Mecalco lleva a cabo un análisis hermenéutico del personaje de Rambo, en tanto estereotipo del soldado estadounidense que encarna al héroe de acción actual.

⁵⁸ Roberts es médica (por la Universidad de Cardiff), antropóloga física, paleopatóloga y escritora inglesa. Desde 2001 es presentadora de programas televisivos sobre ciencia para la BBC. Asimismo, desde 2012 imparte clases sobre el compromiso público de la ciencia en la Universidad de Birmingham. Presentación para la British Science Association titulada *Constructing the mad scientist: tackling stereotypes in science*, consultado el 2 de abril de 2019 en: <https://www.youtube.com/watch?v=d-yAgVifoJU>

estereotipo del científico difundido en los medios: cabello desarreglado, bata de laboratorio, anteojos, actitud abstraída y desenfadada.

Aunado a lo anterior Roberts identifica otro elemento en el estereotipo del científico que remite a cierto grado de maldad, y que quizá proviene de las reinterpretaciones y adaptaciones cinematográficas de la novela de Mary Shelley *Frankenstein o el moderno Prometeo* (1818). En su novela Shelley narra la historia del doctor Victor Frankenstein, quien infunde vida a una criatura a partir de cadáveres humanos sin pensar en las consecuencias; horrorizado por su creación, Frankenstein huye y la criatura sin nombre lo persigue. Aunque el Frankenstein de Shelley no es un científico con maldad voluntaria (aunque evidentemente su acción fue egoísta y tuvo graves consecuencias que jamás enfrentó), en las adaptaciones cinematográficas se muestra como un científico lunático, amoral y cruel, como en *The curse of Frankenstein* (1957).

Por otro lado, Madeline Mitchell y Merryn McKinnon (2018) analizaron los estereotipos de géneros y la representación de los científicos en los medios (específicamente en una sección de entrevistas a científicos del *New York Times*), las autoras consideran que las noticias y los programas de entretenimiento en la televisión constituyen la primera fuente de información sobre los científicos y el trabajo que desempeñan. Sin embargo, estos medios transmiten una imagen estereotipada de los científicos como hombres mayores con barba, que portan bata de laboratorio y lentes (Finson, 2002). Mitchell y McKinnon consideran que estas representaciones estereotípicas del científico afectan la percepción pública y la confianza en esta labor pues, frecuentemente, los científicos son presentados en los medios como amorales, insensibles y obsesivos (Mitchell y McKinnon, 2018). Aunado a lo anterior, las autoras enfatizan la ausencia de científicas mujeres en los medios, citan una encuesta de 2013 que asevera que solo el 30% de los estadounidenses fueron capaces de nombrar a un científico vivo, y dos terceras partes de ese 30% mencionaron solo una mujer científica por cada siete científicos hombres (Mitchell y McKinnon, 2018).

Según Mitchell y McKinnon, las revistas y periódicos tienden a retratar a los científicos como hombres distraídos, socialmente distantes, desinteresados de la vida doméstica y cotidiana. Por otro lado, en el cine los científicos son encasillados en patrones como el tonto virtuoso, el científico impersonal, el alquimista, el héroe o el aventurero (Haynes, 1994; LaFollette, 1988; Nelkin, 1995). En décadas pasadas la investigación científica se consideraba un área principalmente masculina pues requería objetividad intelectual, fuerza física y desapego emocional. A inicios del siglo XX las reseñas de mujeres científicas tendían a enfatizar características propias del ámbito doméstico, como la cocina o la costura, este enfoque restó importancia a la experiencia laboral de las científicas y reforzó la idea de que encontraban mayor satisfacción en estar casadas y tener hijos, que en su trabajo científico (LaFollette, 1988).

Ninguno de los científicos de *Particle Fever* encajan completamente con el estereotipo de científico de bata, barba, lentes, y dentro del laboratorio. Esto ocurre principalmente porque el

lugar donde ocurre la acción no es un laboratorio de química, sino un laboratorio de física de partículas enorme. Ninguno de los siete investigadores porta bata, excepto Dunford (secuencia 15) cuando arregla cables debajo del suelo; el resto viste de manera ordinaria. Por otro lado, sólo tres de ellos llevan gafas (Kaplan, Dimopoulos y Lamont). De los siete investigadores sólo dos son mujeres (Gianotti y Dunford), pero una de ellas es líder del experimento ATLAS. El tiempo que ocupan en pantalla los hombres (38') es tres veces mayor al tiempo dedicado a las mujeres (12'). Un acierto radica en que las mujeres retratadas no son mostradas en un ámbito doméstico (como ocurría en el pasado, de acuerdo con lo informado por LaFollette 1988), por el contrario aparecen siempre en el ámbito laboral y Gianotti, en tanto jefa de un proyecto, aparece organizando personas y dando ordenes. Es Aleksa quien aparece retratado en el ámbito doméstico, en casa con su esposa, jugando con sus hijos (aunque su esposa es quien aparece cocinando y no él).

Por otro lado, Arkani-Hamed sería el investigador que más se acerca al estereotipo del científico que, de acuerdo con Alice Roberts, comúnmente se difunde en los medios y que aparece desarreglado, con actitud abstraída, desenfadada y quizá hasta un poco obsesivo con su trabajo. Sin embargo a lo largo del documental lo vemos rodeado de gente, lo que acentúa su lado sociable, ciertamente su manera de vestir y arreglarse no es la más formal, pero esto quizá se deba a que es joven, pertenece a una generación, y a un gremio profesional, que no se caracteriza por la formalidad, como ejemplo están el mismo Kaplan y Dunford, similares en edad y en vestimenta casual.

- Identificación de símbolos en objetos:

Entre los objetos que aparecen frecuentemente en el documental se encuentran el LHC (del cual se aprecian principalmente el largo túnel, los tubos y los imanes superconductores), el experimento ATLAS y la estatua de Shiva, principalmente. Aunado a lo anterior, la partícula bosón de Higgs es otro "objeto", aunque nunca se muestra en imágenes, es uno de los grandes protagonistas del documental. En los siguientes párrafos se describen estos objetos detalladamente.

El *Large Hadron Collider* (LHC) se localiza dentro de las instalaciones del CERN, en Ginebra, Suiza; su diseño se concibió en los años setenta y su construcción fue aprobada hasta 1994, el túnel antes albergaba el *Large Electron-Positron collider* (LEP), un colisionador de haces de electrones y antipartículas. La construcción del LHC tuvo un costo aproximado de 10 mil millones de dólares, en aquél entonces fue el dispositivo experimental más costoso de la historia (Guerrero, p. 10, 2008). La estructura consiste en una enorme anillo con circunferencia de 27 kilómetros a una profundidad de entre 50 y 175 metros debajo del suelo de Francia y Suiza. Fue construido por más de dos mil físicos de 34 países, y cientos de universidades y laboratorios han contribuido a los diferentes experimentos asociados (CERN, 2020). El LHC fue puesto en marcha el 10 de septiembre de 2008, tal como se muestra en *Particle Fever*.

Dentro del túnel del LHC hay dos tubos (en “vacío ultra-alto”) en cuyo interior viajan, en sentidos opuestos y a 99.99% la velocidad de la luz, dos haces de protón de alta energía. Las partículas aumentan su velocidad con cada vuelta y mantienen trayectorias circulares gracias a un campo magnético fuerte sustentado por grandes electroimanes superconductores a $-271.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura necesaria para que los componentes conduzcan electricidad sin generar resistencia y perder energía en forma de calor), debido a esto gran parte del LHC está conectado a un sistema de distribución de helio líquido que ayuda a enfriar permanentemente los imanes⁵⁹. Se utilizan miles de imanes de diferente tipo y tamaño para dirigir los haces alrededor del acelerador; entre ellos se encuentran 1232 imanes dipolo, de 15 metros de longitud, que “tuercen” los haces, y 392 imanes cuadrupolo, con entre 5 y 7 metros de largo, encargados de “enfocar” los haces. Justo antes de que tenga lugar una colisión entra en juego otro imán, cuya función consiste en “apretar” las partículas hasta que estén muy cerca y así aumentar las posibilidades de que los haces choquen. Las partículas son tan pequeñas que “lograr que choquen es similar a disparar dos agujas que se encuentran a 10 kilómetros de distancia una de la otra, y hacerlas coincidir a la mitad del camino” (CERN, 2020). Cuando se alcanza la energía deseada, los haces se desvían para acerarlos lo más posible, y se hacen chocar entre sí en puntos específicos del LHC, donde se encuentran los detectores. Al momento de la colisión se producen muy altas energías (a escalas subatómicas) similares a eventos ocurridos después del big bang, así que las partículas se destruyen y producen partículas secundarias; cada choque es registrado para analizar diversas teorías, aunque en general el objetivo inicial consistió en examinar la validez, y límites, del modelo estándar de partículas por medio de la detección de la partícula bosón de Higgs (Pascual, 2008; y Guerrero, 2008).

Como se puede observar en *Particle Fever*, desde el centro de control del CERN los investigadores mandan las señales para poner en circulación los haces de protón y hacerlos chocar en cuatro puntos estratégicos, que corresponden a los cuatro experimentos que existían en 2013: ATLAS (*A Toroidal LHC ApparatuS*), CMS (*Compact Muon Solenoid*), LHCb (*LHC-beauty*) y ALICE (*A Large Ion Collider Experiment*)⁶⁰. En el experimento ALICE (que tiene por objetivo estudiar los fenómenos que ocurren con las miles de colisiones entre partículas) ha participado el mayor número de investigadores, e instituciones, mexicanos que diseñaron y construyeron dos de los dieciséis dispositivos: el detector de rayos cósmicos ACORDE (*ALICE Cosmic Ray Detector*) y el detector VO⁶¹.

⁵⁹ Tal como se aprecia en la secuencia 12 (37:25 a 39:16) de *Particle Fever*, días después de que se pusieran en marcha los haces de protón, tuvo lugar una fuga de helio líquido en los sistemas magnéticos superconductores, situación que tardó meses en ser reparada, lo que retrasó el experimento por más de un año y con un costo aproximado de 5 mil millones de euros (Pascual, 2008).

⁶⁰ En la actualidad existen cuatro experimentos más: TOTEM (*Total Cross Section, Elastic Scattering and Diffraction Dissociation*), LHCf (*LHC-forward*), MoEDAL (*Monopole and Exotics Detector At the LHC*) y FASER (*ForwArD Search ExpeRiment*).

⁶¹ Entre los institutos que participaron se encuentran el de Ciencias Nucleares (ICN), y el de Física (IF) de la UNAM, las unidades de Mérida y de Zacatenco del CINVESTAV, la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), y la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS) (Guerrero, 2008).

Hasta la fecha, el LHC no ha producido otro resultado más importante que la detección de la partícula bosón de Higgs; y aunque los investigadores no han reportado la detección de las tan buscadas partículas supersimétricas, los resultados arrojados a lo largo de estos años poco a poco han aportado elementos que validan más el modelo estándar. Desde hace algunos años los investigadores tienen planeada la construcción de un LHC de “alta luminosidad” (HL-LHC): “tras dos años de instalación y de mejora de los detectores, se espera que funcione de nuevo a 14TeV de energía en el año 2021 durante unos tres años, antes de una nueva mejora que ya está prevista pero que dependerá de los resultados que se obtengan” (Pascual, 2008).

Con base en la descripción del LHC, se puede afirmar que representa un gran avance tecnológico mundial, en el que han colaborado investigadores, e instituciones, de cientos de países, con una finalidad común: detectar el bosón de Higgs y validar el modelo estándar de partículas. La construcción del LHC implica décadas de diseño, años de construcción y numerosos ajustes (que continúan hasta la fecha) para conocer más sobre la actual concepción de la estructura de la materia, del comienzo del universo y de las teorías que se han desarrollado desde el siglo XX. Constituye un gran logro de los físicos teóricos y experimentales, de la ciencia y de la civilización contemporánea.

Otro de los objetos que aparece frecuentemente en *Particle Fever*, es el experimento ATLAS⁶², consiste en un mecanismo enorme que mide 46 metros de largo y 25 metros de diámetro, pesa 7 mil toneladas y se encuentra a 100 metros bajo la tierra, cerca de la villa de Meyrin (Suiza). Más de 3 mil científicos, de 174 instituciones de 38 países, han trabajado para construir y hacer funcionar al ATLAS⁶³. A lo largo del documental el experimento ATLAS es mostrado con grandilocuencia, se emplean *tilt ups*, contrapicadas, *dolly outs*, o *zoom outs* para dar al espectador una idea del gran tamaño de este aparato. Dunford relata que la primera vez que lo vio se sintió anonadada (“son cinco pisos de micro electrónicos diseñados a la medida, soldados a mano, es como un reloj suizo de cinco pisos”). Asimismo, al principio y al final de la narración se ve a Gianotti observarlo en contrapicada (en estas imágenes se aprecia la gran escala del aparato comparado con el pequeño tamaño de una persona). De manera que el ATLAS representa un gran logro, un enorme titán construido con gran cuidado y precisión; es símbolo de la grandeza construida en conjunto por científicos de todo el mundo. Los encuadres que realizan director y fotógrafos están destinados a reflejar la majestuosidad de este experimento, y dar cuenta de la meticulosidad implicada en su construcción y funcionamiento. Asimismo, la composición musical enfatiza y exalta el portentoso experimento, las notas remiten a una revelación trascendental.

⁶² Atlas (*A Toroidal LHC Apparatus*), aparato toroidal del LHC, es uno de los ocho experimentos de detección (ALICE, ATLAS, CMS, TOTEM, LHCb, LHCf y MoEDAL) que existen actualmente en el LHC; y es uno de los dos experimentos (junto con CMS) que tenía por objetivo detectar las partículas de más alta energía (como el bosón de Higgs), los compañeros supersimétricos de partículas que ya han sido detectadas con anterioridad, y la materia oscura (consultado en: <http://particlefever.com> el 30 de marzo de 2018).

⁶³ Información consultada en: <https://home.cern/about/experiments/atlas> el 7 de abril de 2018.

Otro objeto que tiene un gran simbolismo, y que aparece al inicio y al final del documental, es la estatua de Shiva que se ubica entre los edificios 39 y 40 del CERN. Data de 2004 y fue obsequiado por el gobierno de la India para conmemorar la colaboración de sus investigadores desde los años sesenta. Shiva es un dios del hinduismo y en esta pieza se encuentra representado como Natarāja, rey del baile. La figura personifica la creación del universo por medio de una danza cósmica⁶⁴. Hacia el final de documental (93:55) la imagen de la estatua aparece a cuadro mientras Kaplan narra en *off* que el resultado arrojado, una Higgs de 125 GeV, es temporal, y asegura que sería increíble que la Higgs, el centro del modelo estándar, fuera a la vez creadora y destructora (en el sentido de que si resultados posteriores aportaran datos para sustentar la idea del multiverso, entonces la Higgs sería la última partícula que se encontraría, y esto significaría el final de la búsqueda). De manera que la figura de Shiva Natarāja es empleada como símbolo y metáfora de la dualidad creadora/destructora, principio/fin, u origen/destino, etc. En el nivel de análisis simbólico histórico-cultural se detalla una descripción de esta figura y se cuenta de los símbolos en ella, así como el contexto del relato mítico al que pertenece.

El bosón de Higgs es otro “objeto” que posee una gran carga simbólica en el documental, a pesar de que jamás se presenta físicamente al espectador. Detrás de la detección de esta partícula descansa la búsqueda por un origen. Este rastreo proviene desde los griegos, quienes se preguntaron por un elemento fundamental que haya originado todo cuanto conocemos. Entre los siglos V y IV a.n.e., el filósofo y matemático Demócrito fue de los primeros en proponer una concepción atomista de la materia (que elaboró a partir de propuestas teóricas de su maestro Leucipo, desde una perspectiva materialista del mundo natural); los atomistas consideraban que existían pequeñísimos cuerpos indivisibles a partir de los cuales se formaba todo cuanto existía, tales cuerpos se movían dentro de un vacío infinito (Berryman, 2016).

Siglos más tarde, en 1687, Isaac Newton publicó los *Philosophiae naturalis principia mathematica*, donde introdujo el concepto de “fuerza”, describió la ley de la fuerza gravitacional universal ($F=ma$, fuerza es igual a masa por aceleración), y postuló que la fuerza que atrae una manzana hacia la Tierra es la misma que hace que los planetas giren alrededor del Sol. Con base en lo anterior estableció que las leyes de la física en la Tierra son las mismas que aquellas en el Universo, y sentó las bases de la mecánica clásica. A finales del siglo XIX James Clerk Maxwell sintetizó los fenómenos de la electricidad, el magnetismo y la luz en una teoría de la radicación electromagnética (Guerrero, 2008 y Gelmini, 2014).

En 1967 los físicos Sheldon Glashow, Steven Weinberg y Abdus Salam propusieron, cada uno por su lado, la teoría electrodébil (que relaciona el electromagnetismo de Maxwell con una interacción entre los componentes del núcleo atómico, denominada “fuerza débil”). En los años setenta se propuso el modelo estándar con base en la teoría electrodébil (Guerrero, 2008). Este

⁶⁴ Información consultada en un artículo de revista online consultado el 20 de mayo de 2018 en: <http://naukas.com/2017/02/07/la-danza-cosmica-del-cern/>

modelo es la teoría más general de la física hasta ahora, describe las partículas fundamentales de todo cuanto existe en la naturaleza, establece que toda la materia está conformada por seis tipos de partículas denominadas quarks, y otras seis designadas leptones; asimismo describe tres, de las cuatro, fuerzas (la electromagnética, la débil y la fuerte) por medio de las cuales interactúan estas partículas (Gelmini, 2014). Sin embargo, el modelo estándar presenta algunas inconsistencias, por ejemplo establece que todas las partículas fundamentales carecerían de masa; sin embargo todas, menos el fotón, la tienen (Guerrero, 2008). Por lo tanto, se asume la existencia de una partícula que al interactuar con las demás las dota de masa.

En 1964 se publicaron tres artículos, casi de manera simultánea, el primero fue presentado por François Englert y Robert Brout, el segundo por Peter Higgs y el tercero por Gerard Guralnik, Carl Richard Hagen y Tom Kibble. Los tres describían por primera vez un campo bosónico elemental, pero sólo Higgs mencionaba algunas propiedades de la partícula asociada con este. Ninguno aplicaba el mecanismo en cuestión al modelo estándar, esto lo hicieron años más tarde Weinberg y Salam. En los años noventa, David Miller, del University College en Londres, explicó el mecanismo de Higgs por medio de una analogía entre el condensado de Higgs y un salón lleno de personas (que representan los bosones en el condensado). Cuando una persona famosa llega al salón, el resto se aglomera alrededor, y entonces la persona famosa se desplaza en grupo, esto implica mayor dificultad y modifica su velocidad, es decir, adquiere inercia, masa (Gelmini, 2014). La comprobación de que el mecanismo de Higgs tenía lugar en el modelo estándar descansaba en la detección del bosón⁶⁵ de Higgs.

En 1983 se detectaron los bosones W y Z (partículas mediadoras de la fuerza débil descritas en la teoría electrodébil); sin embargo, los valores de sus masas no estaban bien determinadas. Hasta ahora, el mecanismo de Higgs es la hipótesis que mejor ha explicado la masa en las partículas: “esta hipótesis postula la existencia de un campo (el campo de Higgs) que está presente en todo el espacio, cuando las partículas interactúan con este campo adquieren masa. El campo tiene una partícula mediadora: el bosón de Higgs” (Guerrero, 2008, p. 12).

Entre 2008 y 2012, a partir de la colisión de haces de protón que tuvo lugar en el LHC del CERN, se tuvieron datos que se interpretaron como la detección de una partícula cuyas propiedades eran muy parecidas a las descritas por Higgs. El dato final que aporta Gianotti en la secuencia 24, corresponde a la masa de tal partícula (126.5 giga-electron voltios). Lo anterior es una abstracción cuya interpretación es exclusiva de este grupo de investigadores. Hasta marzo de 2013, tras la acumulación de datos suficientes, se hizo la confirmación de dos propiedades fundamentales de la partícula y entonces declararon que sí se trataba de “un bosón de Higgs”⁶⁶ (Gelmini, 2014). Esto podría constituir el primer paso para que el modelo estándar sea

⁶⁵ La denominación “bosón” deriva del apellido de Satyendra Nath Bose, físico hindú que estudió las características y consecuencias de este tipo de partícula (Gelmini, 2014, p. 7).

⁶⁶ Afirmar que se trata de “el bosón de Higgs” tomaría años para descartar, o confirmar, la posibilidad de encontrar otros bosones de Higgs no incluidos en el modelo estándar (Gelmini, 2014, p. 2).

modificado por otro que aporte mayores explicaciones sobre las partículas elementales y sus interacciones.

Con base en la descripción de la partícula bosón de Higgs, se puede afirmar que constituye el símbolo de un origen. Conocer la constitución básica de la materia es una curiosidad que proviene del principio de la civilización, que aún no se desvela totalmente. Pretender saber sobre el origen de todo cuanto existe en la naturaleza y el universo, remite a los mitos cosmogónicos. La detección de la Higgs implica siglos de teorización y experimentación, por tanto implica un gran logro de los físicos, de la ciencia y de la civilización contemporánea. En el nivel de análisis simbólico histórico-cultural se aporta mayor información sobre los mitos cosmogónicos.

- *Identificación de símbolos en lugares:*

Entre los escenarios donde tiene lugar el documental se encuentran por su puesto el CERN (aunque sólo algunos interiores clave, como la sala de control, el auditorio, el experimento ATLAS, el sótano donde se encuentra el LHC, las oficinas de algunos investigadores; del exterior se muestran los circuitos externos a los edificios y los campos fuera del complejo); y con menor frecuencia se presentan las oficinas del campus de la Universidad John Hopkins (donde trabaja Kaplan), de la Universidad de Stanford (donde labora Dimopoulos), y del Instituto de Estudios Avanzados de Princeton (donde se desempeña Arkani-Hamed). En el CERN ocurre la mayor parte de la acción que realizan los personajes y, por supuesto, donde los episodios más interesantes tienen lugar. Las oficinas de las universidades John Hopkins, Stanford y Princeton, aparecen como recintos académicos que resguardan a los científicos y académicos que desarrollan teorías, lugares donde conviven personas que se dedican a pensar y plantear teorías físicas. Es decir, los dos sitios descritos (CERN y universidades) se contraponen en el sentido de que en las últimas se gestan las teorías, mientras que en el primero tales teorías son materializadas y puestas a prueba.

- *Simbolismo en iluminación, color y cualidades materiales*

Como ya se mencionó en el análisis formal analítico-descriptivo, la iluminación es principalmente artificial (ya que la fuente lumínica primaria proviene de lámparas), y natural en el caso de filmación en exteriores. Lo anterior es común en los documentales, pues la intención es precisamente filmar en condiciones cercanas a la realidad, por lo cual, las características efectistas en la iluminación (como podría ocurrir en una narración de ficción de algún género específico) no vienen al caso. El objetivo es que la iluminación parezca la normal y natural para el contexto que se presenta. Asimismo, la difusión suave y dirección semilateral de la luz, también aportan naturalidad a los personajes dentro de su contexto habitual (oficinas, centros de investigación, entornos académicos, etc.). En el caso específico de las entrevistas a los protagonistas, la dirección semilateral de la iluminación (a más o menos 45°), así como los encuadres cerrados (plano a media figura, primer plano y primerísimo plano, principalmente), ayudan a resaltar los gestos y otros aspectos de su rostro. La intención detrás de lo anterior es

restar rigidez a las personas, acercarse (literalmente) a su rostro y apreciar las emociones que transmiten sus muecas.

Por otro lado, en tanto que no hay como tal una paleta de colores predilecta, no es posible hablar de un simbolismo en los colores empleados.

Respecto a las cualidades materiales (formato digital, aspecto en proporción 16:9 panorámico, y alta definición) se puede afirmar que la elección del formato digital es casi consustancial al documental y cinematografía actual (por su excelente fidelidad y practicidad para filmar, almacenar y editar). El aspecto en proporción 16:9, también conocido como panorámico, responde asimismo a la tecnología disponible en esta época, pero además ofrece la ventaja de mostrar los grandes instrumentos del CERN (como el experimento ATLAS), y los magníficos paisajes de la frontera franco-suiza (como los alpes franceses o las grandes extensiones de campos). Definitivamente la intención del formato y la proporción empleados es brindar el mayor detalle y exactitud de este gran experimento. Asimismo, el uso de la alta definición (HD) da testimonio de los más finos detalles (ya sea la precisión en los instrumentos del ATLAS, o en la gesticulación de los investigadores).

- *Simbolismo en animaciones y gráficos*

Como ya se comentó en el análisis formal analítico-descriptivo, a lo largo del documental hay 15 animaciones (animaciones 1 a 11, y 17 a 20) y 5 gráficos (12 a 16). Las animaciones son más detalladas y complejas que los gráficos porque describen diversos fenómenos por medio de dibujos. Por otro lado, los gráficos representan datos (en su mayoría numéricos) por medio de líneas, coordenadas cartesianas o vectores para mostrar una correlación estadística. A lo largo de *Particle Fever*, la representación gráfica más frecuente es la lineal. Aunque en apariencia los gráficos son más sencillos, al final están elaborados con la misma calidad que las animaciones, pero tienen menos elementos y muestran información más concisa.

En general, las animaciones de *Particle Fever* tienen mucho movimiento aparente (*zoom in* y *back*, *dolly in* y *back*, e incluso rotaciones de 160° y hasta 360°), y una multitud de elementos aparecen en la pantalla. En algunas animaciones se emplean pocos colores, esto coincide con explicaciones que son un poco más complejas y requieren mayor atención del espectador (ocurre, por ejemplo, con las animaciones 2 y 3) cuyos colores no son más de 5, y los elementos que aparecen representados muy sólidos, específicos y bien delimitados. La intención detrás de lo anterior es que los elementos refuercen la información que los investigadores narran en *off*. Hay otras animaciones donde los elementos visuales abundan, se mueven con mayor velocidad y la paleta de colores es más amplia, e incluso se mezcla la animación con las imágenes en pantalla, o con fotografías y otros elementos visuales filmados (ejemplo de esto son las animaciones 4 y 5). En los casos anteriores las explicaciones brindadas en *off* no son tan complejas, y quizá por eso hay más elementos, la paleta de colores es amplia, y abunda el

movimiento. En todos los casos comentados la música se sincroniza con los movimientos en las animaciones, esto facilita la lectura de las mismas.

Definitivamente no hay un uso indiscriminado de las animaciones y gráficos, se acotan a lo estrictamente necesario para contribuir a una explicación más detallada. En conjunto, las 15 animaciones y los 5 gráficos suman un total de 12 minutos y medio en pantalla. Su empleo es estrictamente necesario para plantear la idea de manera clara y didáctica. El uso de animaciones y gráficos es muy frecuente en documentales de divulgación de ciencia, pues constituyen un elemento que facilita las explicaciones.

- *Simbolismo en diálogos, efectos sonoros y banda sonora musical:*

Es común que en los documentales de divulgación haya un presentador que generalmente aparece a cuadro, o en *off*, y también es común que este presentador sea un científico, divulgador, o alguna personalidad reconocida con autoridad para hacer afirmaciones sobre un tema de ciencia en particular (por ejemplo Cousteau, Sagan, Attenborough, Greene, o DeGrass Tyson). En *Particle Fever*, no hay un único presentador como tal, si bien Kaplan es quien comienza el relato, introduce el tema, y lo va desarrollando a lo largo del documental, no es el único que se dirige al espectador y explica conceptos. De los siete investigadores que más aparecen a cuadro, son cinco quienes explican al público el trabajo que desempeñan para el experimento del LHC (Kaplan, Dunford, Dimopoulos, Arkani-Hamed y Aleksa). En tanto que el relato es conducido por los mismos protagonistas refleja una intención de generar cercanía con el público, asimismo dota de autenticidad a la historia. Ya sea que los investigadores hablen a cámara, en forma de monólogo o diálogo, como espectadores nos sentimos integrados y bienvenidos a una comunidad que generalmente nos parece ajena. Cuando somos testigos del diálogo entre Gianotti y una colega (60:37), sobre la posibilidad de realizar la colisión durante la noche para informar a los medios por la mañana, observamos un cariz de inseguridad y preocupación, situación que nos sorprende porque generalmente los científicos son presentados como una autoridad, siempre seguros de sí mismos, impecables, incapaces de cometer errores, de temer o de disentir. Relacionado con lo anterior cabe señalar los varios momentos en que algunos de los protagonistas (Arkani-Hamed, Dunford y Kaplan) lanzan maldiciones, lo cual refleja su entusiasmo, enojo o decepción exacerbados. En estos breves momentos, el público puede apreciar que los científicos son personas con emociones a flor de piel, y darse cuenta de que no todo su trabajo es meramente intelectual o desprovisto de sentimientos.

En otro orden de ideas, la *Sinfonía n° 9 Op. 125 en Re menor (coral)* de Beethoven acompaña el primer momento álgido del documental: cuando ocurre la primera colisión de los dos haces de protón y los investigadores del CERN celebran. Beethoven compuso esta obra, entre 1818 y 1824, inspirado en un poema de Friedrich Schiller (*An die Freude*) publicado en 1785, conocido como *Oda a la alegría*. La sinfonía se estrenó el 7 de mayo de 1824 en el *Kärntnertortheater* de Viena. En la producción de Beethoven se distinguen tres momentos: el primero abarca de 1794 a 1800 y es considerado dentro de la corriente Clasicista, el segundo va de 1800

a 1815 y es una transición hacia el tercer periodo, que abarca de 1815 hasta su muerte, en 1827, y posee elementos propios del Romanticismo (Rivas, 2013), corriente musical de la que Beethoven es considerado fundador (Pascual, 2008). La novena sinfonía tiene diversas características románticas, como el anhelo y amor a la libertad en tanto ideal para la humanidad; en un primer momento la libertad remite a la creación artística, luego a la libertad de ser y finalmente la libertad para vivir y relacionarse con las personas, es decir la fraternidad. En esto se aprecia la gran influencia de las consignas de libertad, igualdad y fraternidad de la Ilustración y la revolución francesa. El cuarto movimiento de la novena sinfonía, donde está inserto el poema de Schiller, presenta un momento de tensión cuando se contrastan tonos graves (oscuros) y tonos más agudos (suaves) en las voces que al final se concilian en el coro “alcanzando así la liberación del espíritu humano, constantemente asediado por las pasiones, los avatares del destino, la lucha entre instinto y razón, etc.” (Rivas, 2013, p. 6).

En 1972 la *Sinfonía n° 9 Op. 125 en Re menor (coral)* fue elegida por el Consejo de Europa como su himno, y en 1985 los dirigentes de la Unión Europea lo adoptaron también como himno oficial que simboliza a la Unión Europea y a toda Europa, ya que “es la expresión de los ideales europeos de libertad, paz y solidaridad”⁶⁷. Esta pieza musical pudo ser elegida para el momento justo en que ocurre la colisión de los dos haces de protón, porque fue adoptado como himno de la Unión Europea y el experimento se lleva a cabo dentro del CERN (el Consejo Europeo para la Investigación Nuclear), en el cual colaboran investigadores de diversas nacionalidades, principalmente de países europeos. La melodía no sólo acentúa y enmarca la alegría de los científicos que ven el experimento funcionando adecuadamente, también señala el esfuerzo conjunto de diversas naciones (principalmente europeas), es una celebración a la fraternidad y la colaboración internacional. Por último, en tanto que Beethoven se inspiró en las consignas de la Ilustración, su uso en el documental apela a la razón, pero también contrasta con la emotividad que evocan los elementos Romantistas, y el momento en que se inserta en el relato audiovisual (cuando los investigadores ríen y lloran de felicidad por el exitoso funcionamiento de experimento) acentúa el momento de triunfo y celebración.

Los elementos descritos en esta categoría simbólico analítico-descriptiva (símbolos en personajes, objetos, lugares, en la iluminación y color, en las cualidades materiales, animaciones y gráficos, en los diálogos, efectos sonoros y banda sonora musical) se conjugan y conforman la composición fotográfica, la movilidad de la cámara y el montaje, elementos que se relacionan con sus referentes reales o imaginarios, estos son analizados en el siguiente nivel.

3.3.2. Simbólico semántico

Este nivel consiste en la descripción de la relación de los símbolos (visuales y sonoros) con sus referentes reales o imaginarios.

⁶⁷ Información consultada en el sitio web oficial de la Unión Europea en: https://europa.eu/european-union/about-eu/symbols/anthem_es, el 2 de junio de 2018.

- *Simbolismo en la composición fotográfica:*

La composición fotográfica se despliega principalmente en cuatro tipos de encuadres: a) Entrevistas a los investigadores (siempre en encuadres cerrados como media figura, primer plano y en algunas ocasiones hasta primerísimo plano); b) Aparatos tecnológicos y paisajes exteriores al CERN (casi siempre en encuadres abiertos como campo larguísimo, campo largo y campo medio); c) Ecuaciones escritas en un pizarrón, en una hoja de papel, en una computadora o en una *tablet* (siempre en plano detalle); d) Conjunto de investigadores trabajando e interactuando entre ellos (en oficinas, salones, salas de control, auditorios, cafeterías, generalmente en lugares cerrados al interior de una instalación científica; con excepción de los hogares de Dunford y Aleksa, o el auto de Kaplan), casi siempre encuadrados en campo total, figura entera o plano americano.

El hecho de que el testimonio de los investigadores a cuadro sea en media figura, o en primer plano, permite al espectador observar mejor su rostro, sus expresiones faciales que muestran un gran rango de emociones como entusiasmo, sorpresa, incredulidad, enojo, incertidumbre, decepción, felicidad, miedo, optimismo, etc. El empleo de estos encuadres permite que el espectador observe a los investigadores y los considere más cercanos o con sentimientos auténticos. En momentos de gran emotividad incluso hay *zoom in* (por ejemplo, al rostro de Peter Higgs secándose las lágrimas) para acentuar esa humanidad de los científicos, pues la profesión no está por encima de sus sentimientos. La elección de planos medios y cerrados para fotografiar el rostro de los investigadores tiene la intención de transmitir cercanía de los entrevistados con el público.

Por otro lado, Silverstone (1984) denomina “imágenes tecnomórficas” a la aparición repetitiva de aparatos tecnológicos, elemento presente en *Particle Fever* cada vez que se encuadra el experimento ATLAS, los imanes superconductores, el cuarto donde se encuentra la supercomputadora, entre otros. Por ejemplo, el experimento ATLAS es retratado por medio de encuadres (plano abierto, principalmente) y movimientos de cámara (*tilt up*, *dolly in* y *dolly back*, mayormente) que ayudan a resaltar las cualidades como el gran tamaño, el intrincado detalle o la precisión en el funcionamiento. Por otro lado, Silverstone denomina “imágenes semiomórficas” (*idem*) a los textos producto del trabajo científico que pueden mostrarse al público en libros o pizarrones (en la actualidad también se añade a esta lista la pantalla de computadoras, *tablets* o celulares), que generalmente consisten en ecuaciones que rara vez se explican a la audiencia. Lo anterior se puede ejemplificar en *Particle Fever* con las ecuaciones escritas por Arkani-Hamed y Dimopoulos, principalmente. Sin embargo, también hay secuencias donde Kaplan explica (apoyado con gráficos y animaciones a cuadro) elementos complejos relacionados, por ejemplo, con el peso de la Higgs, o con el modelo estándar. Parte del funcionamiento de los aparatos tecnológicos es más o menos explicado (aunque no exhaustivamente), porque el documental muestra el trabajo que desempeña este grupo de científicos en el CERN.

- *Simbolismo de la movilidad:*

Como ya se comentó en el apartado del análisis formal semiótico, el movimiento profilmico (de las personas y objetos dentro del cuadro de imagen) no abunda, este se presenta principalmente después de los momentos de *suspense*, cuando hay una resolución positiva del conflicto mostrado, pues en esas situaciones los investigadores celebran efusivamente. Cuando se exhiben instantes de su vida cotidiana (en el trabajo, casa o ejercitándose), el movimiento de los personajes es el esperado bajo estas condiciones. Es importante destacar que en los documentales de ciencia tradicionales, se solía mostrar a los investigadores realizando actividades propias de su profesión; era común observar a investigadores realizando actividades dentro de un laboratorio, usando bata y utensilios propios de tal ambiente; asimismo se les mostraba escribiendo en un pizarrón y, aunque menos común, se retrataba a los investigadores trabajando en el campo (es el caso de paleontólogos o biólogos). Sin embargo, en *Particle Fever* se muestran no sólo en su ambiente laboral y académico, también en su vida cotidiana (con su familia o haciendo actividades de esparcimiento).

Por otro lado, en la mayor parte del documental los cinefotógrafos emplean la *steady-cam*, que es la cámara que se lleva en mano (con ayuda de un chaleco que porta el/la camarógrafo(a)). El empleo de esta técnica es común en los documentales, pues permite mayor libertad para seguir a los protagonistas tanto en interiores como en exteriores. Por otro lado, *Particle Fever* también emplea frecuentemente el *travelling*, ya sea para seguir a los protagonistas mientras corren, o para dar un recorrido al espectador (mediante el empleo de la cámara subjetiva y brindar la sensación de estar en el lugar). Por otro lado, *tilt up*, *tilt down*, *dolly in* y *dolly back*, se utilizan principalmente para mostrar a la audiencia el gran tamaño del experimento ATLAS principalmente. Por otro lado, en las animaciones y gráficos frecuentemente se emplean movimientos de cámara aparentes, como *zoom in* y *zoom back*. La elección de usar un *zoom-in*, en lugar de un *dolly-in* (el primero consiste en un movimiento aparente y el segundo es efectivo, el resultado en la pantalla es similar) quizá responde a la practicidad en la situación retratada. Por ejemplo, al final de la secuencia 24, se hace *zoom-in* a la mirada de Peter Higgs mientras escucha el final de la presentación de Gianotti, y Heuer anuncia la detección de la partícula Higgs. Es evidente que la (el) camarógrafa(o) optó por un movimiento aparente de cámara, por encima de uno real, porque estaba filmando a una distancia considerable, con cámara en mano; es decir, no había condiciones técnicas ni herramientas adecuadas para hacerlo, se trataba de acentuar el sentimiento de una persona en una situación espontánea donde no se tenía demasiado control, tuvieron que actuar de la manera más eficiente con las herramientas disponibles.

Aunque la mayoría de los documentales emplean *steady-cam*, en los documentales de ciencia casi no hay seguimiento de los investigadores, predominan los encuadres fijos y casi no hay movimiento de cámara, ya que generalmente se enfocan en entrevistarlos con cámara fija, y si acaso muestran su interacción con algunos colegas, o en su lugar de trabajo. Lo peculiar de *Particle Fever* es que la cámara se mueve como si el/la cinefotógrafo(a) estuviera fotografiando

a personajes en la vida diaria. Es notorio que fue pensado como un documental, y no como un documental específicamente de ciencia. Es decir, el director estaba consciente de que había que seguir a los personajes y que habría bastante movimiento de por medio.

- *Simbolismo del montaje:*

El montaje es dinámico pues una toma dura apenas entre 3 y 5 segundos. Las imágenes presentadas aparecen sólo el tiempo necesario para que el espectador pueda leer y comprender lo que ocurre en la imagen. Aunque entre una toma y otra el corte es directo, este no es brusco, por el contrario parece natural. Por ejemplo, cuando se muestra el experimento ATLAS, la cámara lo recorre por medio de *tilts*, *dollys* y *zooms*, como si la mirada del espectador explorara el aparato. Aunque en la edición predomina el corte directo en imágenes, el audio no desaparece del todo, al contrario: generalmente la voz *off* del investigador que narra se alarga hasta empalmarse con la escena siguiente; o bien, cuando la escena se muestra a cuadro, de pronto aparece la voz *off* del investigador “pisando” la imagen antes del corte, y a continuación se muestra al investigador que habla. Esta superposición de elementos sonoros y visuales también dota de dinamismo y ritmo a la narrativa.

El encadenamiento de las imágenes da cuenta de cómo el editor se preocupó por ponerse en el lugar del espectador, por anticiparse a sus necesidades visuales o sonoras y darle los elementos a tiempo. La concatenación de los encuadres y los movimientos de cámara imitan los movimientos de la mirada exploradora de cualquier persona. Por otro lado, la transición entre un episodio y otro queda clara porque se abre y cierra un tema, aunque el editor no echa mano de transiciones evidentes como fundido encadenado, apertura en negro, cortinilla o iris; los cambios también se especifican por medio de elementos sonoros y musicales.

El montaje refleja cierta capacidad anticipatoria, pues en numerosas ocasiones las imágenes a cuadro van un paso delante de lo narrado. Por ejemplo, en la secuencia 5 cuando Dunford describe el entusiasmo de los investigadores ante la puesta en marcha del experimento desde una semana antes, la escena muestra a un grupo de científicos (entre los cuales se encuentra Dunford) sentados en una mesa de controles conversando (se notan ansiosos y emocionados). Asimismo, la integración de banda sonora aporta emotividad a las escenas. Ejemplo de lo anterior es la secuencia 8, donde Dunford narra su primer encuentro con el experimento ATLAS, al tiempo que a cuadro se muestra un recorrido, con cámara subjetiva, por los pasillos hasta llegar a una puerta por donde se entra al ATLAS, entonces la música vibrante detona la sensación de sorpresa y descubrimiento.

La intención detrás del dinamismo en el montaje, de la facilidad con que se leen las imágenes presentadas, es hacer más comprensible un tema que podría ser difícil. Al mismo tiempo, hay una intención de que el espectador sienta afinidad por los protagonistas y sus emociones. El montaje armoniza y contrapuntea el sentimiento que viven los protagonistas. Por ejemplo, el momento en que ocurre la primera colisión entre los haces de protón (65:25) y los

investigadores celebran, la banda sonora musical explota con el cuarto y último movimiento de la *Sinfonía n° 9 Op. 125 en Re menor (coral)* de Beethoven, el montaje contrapuntea acertadamente las imágenes con este ritmo musical. Finalmente, también hay una preparación del terreno para generar emociones en el espectador. Por ejemplo, con bastante tiempo de antelación, en tres ocasiones, se hace mención visual (y auditiva, por medio de una nota sonora estridente) del problema que está a punto de salir a la luz (la fuga de helio). Aunque la fuga es mencionada hasta la secuencia 12, ya desde el final de la secuencia 10 (34:19 a 34:25), y a lo largo de la secuencia 11 (35:52 a 35:56 y 37:16 a 37:25) se presentan fragmentos que anuncian el desastre que se avecina. De tal manera que cuando suenan las alarmas y se presenta el desperfecto, ya se ha informado a la audiencia que algo no marcha bien.

Los símbolos identificados y descritos en el nivel simbólico analítico-descriptivo, y la descripción de la relación de los símbolos (visuales y sonoros) con referentes reales o imaginarios, descritos en el nivel simbólico semántico, son puestos en contexto en el siguiente nivel, para poder comprenderlos a cabalidad, e insertarlos en un horizonte histórico cultural determinado.

3.3.3. Simbólico histórico-cultural

Los símbolos descritos en el nivel simbólico analítico-descriptivo deben ponerse en contexto para insertarlos en un horizonte histórico-cultural determinado. Este nivel consiste en la descripción de la significación específica de esos símbolos en un momento histórico dado y en una sociedad determinada. Por lo tanto, se describen y analizan los símbolos presentes en la obra pero en el contexto del relato mítico al que pertenecen. Por ejemplo, ya en el nivel simbólico analítico-descriptivo se dio cuenta de la estatua de Shiva Natarāja, en este nivel simbólico histórico-cultural se va a explicar el contexto mítico del que sale esta figura, para analizar el simbolismo detrás y determinar su importancia en *Particle Fever*.

- *Análisis de símbolos (identificados en el documental) en el contexto del relato mítico:*

La figura de Shiva Natarāja es uno de los símbolos más importantes del documental. Asimismo, el mito de Prometeo también está implícito en el relato de la búsqueda que realizan los investigadores de *Particle Fever*. En los siguientes párrafos se describen detalladamente, y se da cuenta del origen simbólico y el contexto del relato mítico al que pertenecen tanto la figura de Shiva Natarāja, como Prometeo.

Shiva Natarāja tiene cuatro brazos (esto puede indicar que es capaz de realizar actos, o que tiene poderes, sobrehumanos). En la mano superior derecha sostiene un pequeño tambor (*damaru*) que marca el ritmo de su danza, “implica sonido, vehículo de la palabra, transmisor de la revelación, de la tradición, del conjuro, la magia y la verdad divina” (Zimmer, 1997, p. 148). Los dedos de la mano superior izquierda forman una media luna (*ardhacandra-mudrā*) y en la palma sostiene una pequeña flama: “el fuego es el elemento de la destrucción del mundo” (*ídem*). La mano inferior derecha tiene la palma abierta hacia el frente, significa “no temas”

(*abhaya-mudrā*) y concede protección. El brazo inferior izquierdo se encuentra doblado hacia el lado derecho y apunta hacia el pie derecho. Su pierna izquierda se encuentra ligeramente elevada y flexionada, el pie apunta hacia el lado derecho y significa liberación “refugio y salvación del devoto” (Zimmer, 1997, p. 149). Su pierna derecha está ligeramente flexionada y pisando un demonio enano (*Apasmāra Purusa*) contra el suelo, este se encuentra boca abajo con brazos y piernas extendidos, y con la lengua de fuera. Este demonio (*purusa*) es el olvido y la negligencia (*apasmāra*), “simboliza la ceguera de la vida, la ignorancia del hombre. La victoria sobre este demonio se consigue alcanzando la verdadera sabiduría” (*idem*). Aunado a lo anterior Shiva Natarāja porta una especie de falda ajustada (*dhoti*), y exhibe joyería diversa⁶⁸; su cabellera está en parte recogida en un peinado piramidal, aunque también luce largos mechones sueltos al lado derecho e izquierdo de su cabeza (formando una especie de halo), que se ondulan por el frenesí de su danza, “Siva es aparentemente dos cosas opuestas: asceta arquetípico y danzarín arquetípico. Por un lado es la tranquilidad total: la calma interior inmersa en sí mismo, inmersa en el vacío del Absoluto, donde se funden y se disuelven todas las distinciones y donde descansan todas las tensiones. Pero por otro lado es actividad total: energía vital, frenética, sin objeto y alegre” (*idem*, p. 160 y 161).

La danza simboliza un acto de magia y creación, tiene una función cosmogónica porque despierta energías dormidas; asimismo “el danzarín se agranda en un ser dotado de poderes supranormales. Su personalidad se transforma (...) la danza provoca el trance, el éxtasis, la experiencia de lo divino, la realización de la naturaleza secreta de uno mismo y, finalmente, la fusión con la esencia divina” (*idem*, p. 147 y 148). La danza tiene lugar al interior de un círculo con llamas de fuego y luz (*probahā-mandala*) que puede representar los procesos vitales del universo, la energía de la sabiduría, o la luz trascendental del conocimiento de la verdad (*idem*). Por otro lado, en poemas antiguos se da cuenta de esta danza:

Alrededor de la mitad del siglo X, los gobernantes de la dinastía Chola en el sur de la India eligieron a Natarāja como la deidad de su clan (...) Un poema Chola describe el simbolismo de Natarāja de esta forma: El sonido de su tambor sagrado despierta al cosmos para existir; su mano levantada en esperanza lo sostiene y lo protege; con su fuego purificante, el ego se destruye; su pie plantado en la tierra es la morada para el descanso del alma cansada, capturada en las ataduras de la ilusión; y su pie levantado promete liberación⁶⁹.

El contenido del poema anterior revela a Shiva Natarāja en un momento de destrucción, pero también de purificación y liberación que conducen a un renacimiento: “la desintegración de los elementos primigenios que parecen significar la muerte es en realidad el primer paso de la

⁶⁸ Consultado en la página del Museo de Arte de Portland (que exhibe una escultura de Shiva Natarāja posterior al siglo XII en aleación de cobre), el 7 de enero de 2019, en: <https://portlandartmuseum.org/wp-content/uploads/2017/10/Shiva-Nataraja-ES.pdf>

⁶⁹ Consultado en la página del Museo de Arte de Portland (que exhibe una escultura de Shiva Natarāja posterior al siglo XII en aleación de cobre), el 7 de enero de 2019, en: <https://portlandartmuseum.org/wp-content/uploads/2017/10/Shiva-Nataraja-ES.pdf>

transformación de la vida” (Doniger, 2004, p. 14). En tanto señor de la danza (*Natarāja*) interpreta dos tipos; por un lado está la denominada *Tāndava*, una danza violenta, feroz, que tiene por origen una energía explosiva, provoca devastación y tiene elementos de una danza de guerra cósmica que pretende despertar energías destructoras contra el enemigo. Pero también tiene la capacidad de interpretar *Lāsya*, danza tranquila, lírica, amable que representa ternura y amor (Zimmer, 1997 y Doniger, 2004).

En la base de la escultura de Shiva Natarāja se encuentra una placa con un extracto del verso 56 del *Sivanandalahari*⁷⁰ de Sri Adi Sankara⁷¹, escrito en hindi e inglés: “O Omnipresent, the embodiment of all virtues, the creator of this cosmic universe, the King of dances, who dances the *Ananda Tandava* in the twilight, I salute thee”. Lo anterior puede traducirse como “Oh omnipresente, la encarnación de todas las virtudes, el creador de este universo cósmico, el rey de los danzantes, que baila el *Ananda Tandava*⁷² en el crepúsculo, te saludo”⁷³. Al final de la placa, se da cuenta de que el presente es otorgado por el Departamento de Energía Atómica del Gobierno de India. Aunado al poema, en la placa ubicada al pie de la escultura, se encuentra una descripción más detallada en una lámina del lado izquierdo frente a la figura que dice lo siguiente:

Conocido como Natarāja, esta forma particular de Shiva danzante es uno de los mejores regalos para el mundo del arte. Shiva simboliza el “shakti”⁷⁴, o fuerza vital, en la trinidad hindú. Él es el Creador, el Sustentador y el Destructor. Más allá de la forma artística de Natarāja hay un profundo significado que debe ser comprendido en muchos niveles. El Natarāja en *Ananda Tandava* se muestra dando vida al universo, sosteniéndolo con su ritmo y bailando hasta la extinción. La creación yace en las vibraciones del tambor en la mano derecha; la protección, o sustancia, están representadas por la palma abierta de la mano derecha frontal, un gesto de seguridad que garantiza liberación del miedo. El fuego en el brazo izquierdo disuelve el universo, mientras que el brazo delantero izquierdo apunta hacia abajo a la pierna izquierda que está levantada, el consuelo de los mundos. El enano que representa la ignorancia es pisoteado debajo de la pierna derecha. La aureola representa el cosmos, el sol, la luna y las estrellas rotando en un movimiento perceptivo y ardiente. Ananda K. Coomaraswamy, al ver más allá del insuperable ritmo, belleza, poder y gracia de Natarāja, escribió una vez sobre este “es la imagen más clara de la actividad de Dios de la que cualquier arte o religión pueda jactarse”. Más recientemente, Fritjof Capra explicó que “la física moderna ha demostrado que el ritmo de la creación y la destrucción no solo se manifiesta en el cambio de las estaciones y en el nacimiento y muerte de todas las criaturas vivientes, también está

⁷⁰ Himno de adoración sobre Shiva, literalmente significa “ola de la felicidad auspiciosa”; contiene cien estrofas. Consultado el 7 de enero de 2019 en: https://en.wikipedia.org/wiki/Shivananda_Lahari

⁷¹ Filósofo hindú del siglo XVIII perteneciente a la doctrina Advaita Vedanta. Consultado el 7 de enero de 2019 en: https://en.wikipedia.org/wiki/Adi_Shankara_bibliography

⁷² Danza vigorosa que realiza Shiva Natarāja, fuente de ciclo de creación, preservación y disolución del universo. Consultado el 7 de enero de 2019 en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Tandava>

⁷³ Traducción propia

⁷⁴ Para Elsa Cross, “shakti” quiere decir energía y remite específicamente a la energía divina (1994, p. 25).

presente en la esencia misma de la materia inorgánica”, y que “para los físicos modernos, entonces, la danza de Shiva es la danza de la materia subatómica”⁷⁵

En el Rig Veda (una de las escrituras sagradas más antiguas de la India) hay diversos relatos sobre la creación del universo, así como divinidades que lo crean, lo resguardan y lo destruyen. Una de las divinidades que se asocia a la destrucción, aunque también con un carácter benevolente, es Rudra, a quien también se conoce como Shiva (resultado del sincretismo védico y un dios de la antigüedad previo a los Vedas). En el hinduismo clásico, que tiene lugar siglos después de la época védica, se asignaron funciones cósmicas a los diferentes dioses, por ejemplo Brahma se asocia a la creación, Vishnu al sustento del universo, y a Shiva la destrucción o disolución (que consiste más en una reabsorción de lo creado, que en un exterminio definitivo), “Shiva es también un símbolo de la liberación última, que disuelve el ego y funde el ser individual con el Absoluto” (Cross, 1994, p. 24).

En el shivaísmo de Cachemira la figura de Shiva como Natarāja (rey de los danzantes) representa no sólo la destrucción, sino al menos cinco procesos cósmicos relacionados con la concepción del universo. El primero se encuentra en el tambor que lleva en la mano posterior derecha y representa la creación (*srsti*), manifestación, emanación o despliegue, pues su sonido es fundamental para el origen del universo. Por otro lado, la mano anterior derecha muestra la palma extendida en un gesto de conservación (*sthiti*), duración, conciliación o bendición, conocido como *abhaya-mudra*, (“no temas”) que implica protección, esperanza, tranquilidad, conservación de un orden y sostenimiento del universo que se ha originado. El tercer proceso cósmico remite a la disolución, reabsorción o destrucción (*samhara*), está simbolizado en la llama de fuego que Natarāja sostiene en la palma de su mano posterior izquierda. El cuarto hace alusión al ocultamiento (*tiro-bhāva*), ilusión, engaño o cubrimiento del Ser Verdadero tras apariencias, está encarnado en la figura del enano que es aplastado por el pie derecho de Natarāja. Por último, el quinto proceso remite a la revelación, favor o gracia (*anugraha*), está representado en la mano anterior izquierda que señala también al pie izquierdo que se levanta en el aire. Este último constituye el punto de retorno en el ciclo cósmico, pues en esta corriente de pensamiento no hay una concepción del tiempo lineal, sino cíclica: cada disolución implica una nueva creación, ambas ocurren constantemente. Aunado a lo anterior el rostro de Natarāja expresa gozo sereno. Sus cuatro brazos representan sus muchos poderes. La luna creciente sobre el lado izquierdo de su cabeza simboliza la energía en ascenso. En la oreja derecha porta un arete de hombre, mientras que en la izquierda lleva un arete de mujer, lo anterior representa la unión de los contrarios (Cross, 1994 y Zimmer, 1997).

Como conclusión de lo expuesto hasta ahora se puede aseverar que la figura de Shiva Natarāja remite dualmente a la creación y a la destrucción, es decir, al ciclo completo del universo y de los seres humanos, no hay una linealidad, sino una circularidad; al tiempo que da cuenta de un inicio, remite a un fin. Asimismo, la escultura alude a un mito cosmogónico. Los mitos son la

⁷⁵ Traducción propia

forma de saber más importante en la vida colectiva de las sociedades pues dan cuenta del origen, fundamento, costumbres y prácticas por medio de las cuales se da forma a una cultura. La literatura, la poesía, los relatos y hasta las preguntas de la ciencia y la filosofía se alimentan de los mitos (Amador, 2004). La figura de Shiva Natarāja está narrando un mito cosmogónico con dimensión cognoscitiva, constituido por una estructura explicativa que permite la comprensión del origen y el por qué de lo que existe, de la fundación del cosmos, y el paso del caos al orden y viceversa. Al mismo tiempo, *Particle Fever* relata el trabajo que realiza un grupo de investigadores en su búsqueda por una partícula que daría cuenta de una parte del origen del universo, hay en estos investigadores una constante necesidad no sólo de conocer el origen, sino de crear orden, clasificación y sentido de completitud. La figura del demonio enano que es aplastado por Shiva Natarāja simboliza olvido, negligencia, ignorancia o ceguera, y la victoria sobre él se alcanza por medio de la sabiduría. Así, esta figura representa aquello que los investigadores combaten en su trabajo diario, una lucha constante por conocer más (o desconocer menos) y evitar la ignorancia. Aunado a lo anterior, la idea de la renovación universal está presente en casi todas las sociedades tradicionales; en las sociedades antiguas de la mano del mito cosmogónico se presenta el mito escatológico con un sentido de renovación del cosmos. Los mitos del fin del mundo implican la recreación del universo, la formación de uno nuevo, representan la idea de que el cosmos necesita destrucción y recreación periódicas (*idem*). En el documental aquello que se renueva es el conocimiento, los planteamientos científicos que imperaron por décadas y que podrían modificarse de acuerdo a los datos más recientes producto del experimento.

Otro relato mítico presente en *Particle Fever* remite a Prometeo, del que existen varias versiones e interpretaciones. Para fines de esta investigación se retoman sólo dos de ellas: el contado por Hesíodo en *Teogonía*⁷⁶ y *Trabajos y días*⁷⁷ (donde Prometeo es benefactor de la humanidad) y el que Platón narra en el diálogo *Protágoras o los sofistas* (en el cual Prometeo no sólo es benefactor, sino también creador, de la humanidad). A continuación se da cuenta de ambas y se explica su referencia en este documental. En el mito descrito por Hesíodo, Prometeo es hijo del titán Jápeto (hermano de Crono, quien a su vez es padre de Zeus), y de la oceánide (hija de Océano y Tetis) Clímene (en otros relatos el nombre se modifica por Asia). Durante un sacrificio solemne Prometeo separó un buey muerto en dos partes, por un lado puso la carne y las vísceras cubiertas con el vientre del animal, y por otro los huesos embadurnados de grasa. Le pidió a Zeus que escogiera su parte, el sobrante sería para los hombres; Zeus escogió la grasa, pero al darse cuenta de que eran sólo huesos enfureció hacia Prometeo y los hombres, a

⁷⁶ En este texto Hesíodo relata la historia de Prometeo como una victoria más de Zeus, pues el castigo que le impone a Prometeo consolida a Zeus como soberano de los dioses y la humanidad; esta versión enfatiza el engaño en el reparto y el robo del fuego, por lo tanto tiene como punto de partida el mundo de los dioses. (García, 1979, p. 31).

⁷⁷ En contraste con *Teogonía*, en *Trabajos y días*, Hesíodo cuenta lo acontecido con Prometeo con el objetivo de explicar las causas de los castigos que deben enfrentar los seres humanos para sobrevivir, por lo cual subraya las consecuencias para la humanidad (la creación de Pandora, la primera mujer, y su incursión al mundo de los hombres como castigo definitivo) y para Prometeo (su encadenamiento al Cáucaso para que cada día un águila devore su hígado que se regenera durante la noche); esta versión justifica la existencia del mal como medio para conseguir sustento (García, 1979, p. 31).

quienes castigo retirándoles el fuego. Sin embargo, Prometeo desafió por segunda vez a Zeus y robó el fuego para los hombres. En esta ocasión Zeus no sólo castigó de nuevo a los hombres, también a Prometeo, quien fue encadenado en el Cáucaso, donde cada día un águila le devoraba el hígado que, durante la noche, se regeneraba para que al día siguiente sufriera la misma tortura. El castigo de Zeus a los hombres consistió en Pandora, la primera mujer, creada por Hefesto y Atenea con ayuda de todos los dioses, cada uno de los cuales le confirió una cualidad (belleza, gracia, capacidad persuasiva, entre otras), Hermes agregó mentira y falacia. Hesíodo cuenta que Zeus envió a Pandora como regalo a Epimeteo (hermano de Prometeo) quien aceptó (a pesar de las advertencia de su hermano de rechazar cualquier presente de Zeus) y se unió a Pandora seducido por su belleza. Epimeteo tenía una jarra que contenía todos los males, Pandora la abrió y todos los males se esparcieron entre la humanidad, hasta el fondo quedó la esperanza, pero no logró salir (Grimal, 2017). Algunos analistas de mitos consideran que Prometeo y Epimeteo representan la sabiduría y la torpeza humanas respectivamente. Zeus castiga a ambos por sus pecados, en Prometeo castiga la sabiduría, y en Epimeteo la torpeza (Pérez y Martínez, 1978).

La acción de Prometeo de llevar el fuego a los seres humanos ha constituido, a lo largo del tiempo, la metáfora de llevar sabiduría o conocimiento a la humanidad. El fuego constituye un símbolo de la luz, es decir del conocimiento; Prometeo a su vez es símbolo de la razón, también encarna la rebeldía pues es un benefactor y libertador que lleva progreso y técnica, a los seres humanos. En *Particle Fever*, el conjunto de investigadores desempeña la función de llevar conocimiento a la humanidad, de ir más allá de las fronteras, desafiar los límites de lo que se considera posible para nosotros. Este grupo de investigadores pretenden conocer las condiciones en que surgió el universo y detectar una partícula atómica elusiva; en este sentido pretenden acceder a un conocimiento que, de acuerdo con los relatos mitológicos, está reservado sólo para los dioses, no para los mortales, por lo tanto es un acto de rebeldía y, al mismo tiempo profundamente civilizatorio, pues pretende llevar conocimiento a los demás. Aunado a lo anterior, las herramientas que emplean para llevar a cabo esta labor constituyen un gran desarrollo de la técnica, por lo tanto remiten al progreso no sólo científico, sino también humano y cultural. Hacia el final del documental, en la secuencia 25, Dimopoulos comenta que experimentó un sentimiento de orgullo al momento en que anunciaron la detección del Higgs, no sólo como científico, sino como parte de la humanidad.

El mito de Prometeo también remite al origen de la cultura. Platón cuenta que Protágoras relató a Sócrates⁷⁸ un mito que data de la época en que sólo había dioses, las razas mortales aún no existían. Los dioses mezclaron tierra y fuego para crear a los seres vivos, encargaron a

⁷⁸No es seguro que el relato sea auténticamente de Protágoras, algunos especialistas piensan que puede ser una invención que Platón atribuye a Sócrates; el estilo expositivo es similar a otros relatos de Protágoras, y esta narración particular expone las ideas que tenía sobre la técnica, la política, la convivencia ciudadana y la democracia (García, 1979, pp. 54 y 55).

Prometeo y a Epimeteo adornar y distribuir capacidades entre todos los seres antes de sacarlos a la luz. Epimeteo pidió a Prometeo hacer la distribución bajo la promesa de que al final podría inspeccionarla, Prometeo aceptó. Epimeteo dotó a unos animales con velocidad, a otros les revistió de pieles y pelo para que no pasaran frío; trató de repartir las características de manera equilibrada para procurar que ninguna especie fuera aniquilada. Sin embargo, cuando Prometeo llegó a inspeccionar el trabajo, notó que Epimeteo había gastado todas las capacidades en los animales y había dejado a los humanos desnudos, sin abrigo, calzado o armas. El tiempo se terminaba, los dioses pronto sacarían los seres a la luz; ante el apuro Prometeo robó la habilidad técnica y el fuego Hefesto y Atenea, y los obsequió a la humanidad. Así, los seres humanos consiguieron habilidades que les permitieron hablar, construir casas, tener vestido, calzado, cobijo y agricultura. A pesar de esto, estaban desprovistos de la sagacidad política (en poder de Zeus), así que padecían constantes ataques de fieras porque no poseían saberes bélicos. Ante el temor de que la raza humana pereciera, Zeus encargó a Hermes llevar a los hombres el sentido moral y la justicia. Así, pronto iniciaron las ciudades, los pactos y las convenciones de amistad. Hermes preguntó a Zeus si todos los seres serían poseedores de estos dones, Zeus respondió que era suficiente con que una persona dominara la técnica para que auxiliara a los demás (García, 1979). En este relato la habilidad técnica y el fuego (que Prometeo toma de Atenea y Hefesto) permite que la humanidad desarrolle el lenguaje, construya y modifique su entorno para sobrevivir. Asimismo, el sentido moral y la justicia (dotados por Zeus) les ayuda a organizarse mejor y a establecer convenciones que conducen al origen de una cultura, y es que para alcanzar el progreso no basta sólo con dominar la técnica y los instrumentos, resulta necesario el establecimiento de normas morales que faciliten la convivencia (*idem*).

Para concluir, Alice Roberts refiere las interpretaciones posteriores a *Frankenstein o el moderno Prometeo* como el iniciador del estereotipo del científico malvado. Efectivamente, en adaptaciones teatrales y cinematográficas posteriores se exageró la insensibilidad y arrogancia de los científicos. Sin embargo, este rasgo deja de ser prometeico y se convierte en faustico, pues se abusa del conocimiento para hacer el mal de manera completamente deliberada. En el relato alemán clásico Fausto vende su alma a Mefistófeles a cambio de poder, es decir, adquiere cualidades típicas de un héroe, pero en lugar de emplearlas para hacer el bien y ayudar a otros, usa su poder de manera egoísta, no le importa afectar o destruir a quienes le rodean. En *Particle Fever* el relato prometeico no deviene en faustico pues el conocimiento no se emplea para el mal, ni se emplea para destruir. Sin embargo sí hay un punto de encuentro entre el relato prometeico de Shelley y *Particle Fever*. En el libro de la autora inglesa Victor Frankenstein, por medio del domino de la técnica, infunde vida a un ser constituido por fragmentos de cadáveres, con esto logra lo que ninguna persona había hecho antes. En el documental, los investigadores también emplean la técnica para conseguir lo que nadie había logrado: identificar una partícula que aporta información sobre el origen del universo.

Así concluye el nivel simbólico histórico-cultural, donde se ha dado cuenta de la significación específica de los símbolos identificados en el documental y el contexto del relato mítico al que

pertenecen. También se cierra la traída de niveles simbólicos; una vez detallados estos y los aspectos formales, es posible ascender al ámbito narrativo, conformado por tres niveles que se detallan en la siguiente sección.

3.4. Análisis narrativo

Esta etapa consiste en esclarecer la historia que se narra en *Particle Fever*, es el momento de convergencia de los elementos formales y simbólicos en la estructura en un todo narrativo.

3.4.1. Narrativo analítico-descriptivo:

Este nivel consiste en la descripción de personajes (protagónicos, antagonicos y secundarios) y las acciones que realizan (así como la relación jerárquica que se establece entre ellos); así como las situaciones de conflicto, *suspense* y resolución; y la representación de la ciencia.

- *Personajes*

Los personajes protagónicos son los siete investigadores que aparecen recurrentemente a lo largo del documental: David Kaplan, Fabiola Gianotti, Savas Dimopoulos, Nima Arkani-Hamed, Mónica Dunford, Martin Aleksa y Mike Lamont. Aunque los siete investigadores son los protagonistas del relato, no tienen la misma jerarquía, y tampoco aparecen en pantalla por el mismo tiempo. También cabe aclarar que el tiempo que cada personaje aparece en pantalla no es equivalente a su estatus académico en el entorno laboral retratado; por ejemplo, aunque Gianotti es quien tiene mayor jerarquía que el resto de los investigadores (porque es la jefa del proyecto ATLAS), el tiempo que aparece en pantalla es poco (es la segunda investigadora que menos minutos aparece en pantalla: apenas 3 intervenciones en menos de 2' de duración). De manera que la jerarquía que existe entre los personajes en su ámbito laboral, no es la misma jerarquía que tienen en el documental. Mientras que en el entorno laboral del CERN Gianotti es el personaje con mayor jerarquía, la persona que mayor tiempo ocupa en pantalla es Dunford (con 12 intervenciones a lo largo de 10') que en el ámbito laboral es quien tiene de menor rango, porque es una estudiante de posdoctorado.

Aunado a lo anterior, aunque Kaplan, Arkani-Hamed y Dimopoulos no trabajan en el CERN es posible observar una jerarquía académica entre ellos y con el resto de los protagónicos. Después de Gianotti, Dimopoulos sería el investigador con mayor jerarquía académica al interior de la trama del documental (a pesar de que no trabaja en el CERN y que es físico teórico, no experimental como Gianotti), ambos cumplen el rol de mentores de sus alumnos y del resto de la comunidad científica. Como se puede observar, la relación jerárquica entre los personajes es compleja y no depende de su estatus académico en el entorno laboral retratado, ni del tiempo que aparecen a cuadro en el documental. Debido a lo anterior, a continuación se presenta una descripción de los personajes, que incluye las acciones que realizan, el rol que desempeñan en el documental y el tiempo que aparecen en pantalla, para que el lector considere estos elementos.

Personajes protagónicos

David Kaplan

Kaplan es doctor en física de partículas y profesor de la Universidad John Hopkins. Su participación a lo largo del documental es de guía que toma de la mano al espectador, explica y da orden a la narrativa y sus pormenores. Explica varios de los conceptos o ideas científicas mencionadas como: el funcionamiento, y contexto de construcción, del LHC; la diferencia entre físicos de partículas teóricos y experimentales; la importancia del estudio de partículas; la composición de los átomos; el surgimiento, importancia y desarrollo histórico del modelo estándar de partículas; el planteamiento, e importancia, de la propuesta de la partícula bosón de Higgs; algunas características de la ciencia básica; algunas características de la propuesta de supersimetría; la posible detección de la partícula Higgs de acuerdo con su masa, y su relación con los planteamientos de supersimetría y multiverso. Por otro lado, como ya se ha comentado, Kaplan es el investigador con mayor número de intervenciones (13), y quien más tiempo ocupa en pantalla (18'35").

Kaplan podría encajar en la clasificación de Silverstone (1984) de científico como intérprete (uno de los cinco roles de los científicos en los documentales de ciencia, de acuerdo con la clasificación de Silverstone), ya que este se encuentra rodeado por un contexto que resulta significativo para él y que puede descifrar para la audiencia de manera autoritaria (en el sentido de tener la competencia suficiente para hacerlo). Es decir, Kaplan comprende lo que ocurre en el contexto del experimento del CERN, conoce a esa comunidad científica y, por tanto, es capaz de explicar a la audiencia los elementos necesarios para que esta comprenda la trama y el conflicto de la historia.

Fabiola Gianotti

Gianotti es doctora en física de partículas y directora del experimento ATLAS. En el documental es retratada como una mentora, como una mujer inteligente, avezada, diligente, paciente y amable, un ejemplo a seguir para sus discípulos, es sensible y talentosa para el arte pues en la secuencia 11 aparece tocando el piano, y en la secuencia 25 habla de las similitudes entre ciencia y arte. Aunque aparece constantemente a lo largo del documental (pues es la directora del proyecto ATLAS), únicamente tiene 3 intervenciones directas a cámara con apenas 1'58" de tiempo. La primera vez que se dirige a la audiencia relata su llegada al CERN, cuando era estudiante de posgrado. A lo largo del documental se la observa generalmente hablando y coordinando a otros investigadores, se aprecia amable, aunque seria y diligente. En dos intervenciones aborda las similitudes entre la ciencia y el arte, incluso se la ve tocar el piano, por lo cual refleja inteligencia, sensibilidad y habilidad no sólo científica.

Dentro de la clasificación de Silverstone (1984), Gianotti personifica el rol de científica como demostradora, particularmente a mitad de la secuencia 24 (84:20-86:15), cuando presenta el resumen de los datos obtenidos por el experimento ATLAS, ya que mediante gráficas explica a

sus colegas el peso de la Higgs. Asimismo, cumple otro rol que Silverstone no considera, y que consiste en la gestión de un equipo de trabajo; porque, aunque tiene pocas intervenciones, la cámara muestra su liderazgo y coordinación (con su equipo y con otros directivos del CERN), generalmente platicando con gente, coordinando y negociando; un rol de científica como parte de un equipo de trabajo y, principalmente, como líder.

Monica Dunford

Dunford es posdoctoranda en física experimental. En el documental aparece trabajando en el CERN, es la única investigadora que aparece realizando actividades deportivas (montando en bicicleta, corriendo y remando), generalmente se muestra entusiasta, optimista y bromista. Dunford es la investigadora que, después de Kaplan, tiene el mayor número de intervenciones: 10 a lo largo de 10'. A lo largo del documental menciona, y explica, varios conceptos o ideas científicas complejas como: la diferencia entre la física teórica y la física experimental; en qué consisten los cuatro experimentos principales en el LHC; en qué consiste el experimento ATLAS; y en qué consiste el lanzamiento del primer haz de protones. Aunque también menciona términos que jamás explica como: haz de protones; detección de la partícula bosón de Higgs; los datos que arroja el experimento; y la “nueva física”. Hacia el final del documental menciona el estatus cambiante de la física (asegura que los resultados no son permanentes, y que habrá que apagar el LHC, mejorarlo, reiniciarlo después de algunos años, y esperar más datos).

Dentro de la clasificación de Silverstone (1984), Dunford encaja en los siguientes roles: científica obrera (rodeada de herramientas que producen datos a partir de una actividad física), porque es mostrada revisando cables y otros aparatos; y científica como demostradora, porque explica al público en qué consiste el experimento con ayuda de animaciones y gráficas digitales. Sin embargo respecto al primer rol es preciso acotar que jamás explica qué es lo que hace en el cuarto lleno de cables, ni qué función desempeña durante los meses que toma arreglar la fuga de helio en los imanes superconductores. Su desempeño es lo que Latour (2001) denomina “caja negra”, en tanto que el espectador no tiene una idea clara de lo que hace, aunque ella y sus colegas aseguran que el experimento arroja datos y/o resultados.

Nima Arkani-Hamed

Arkani-Hamed es doctor en física teórica, profesor y académico en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton. A lo largo del documental comenta que sus padres son físicos iraníes que tuvieron que salir de su país por problemas políticos (pues su padre se declaró opositor a la Guardia Revolucionaria iraní después de 1979), así que su familia huyó a Turquía, y luego a Canadá. A lo largo del documental se muestra serio y meditabundo, expone de manera franca su desagrado por el lado social y mediático del LHC, asimismo equilibra el entusiasmo de los otros investigadores con un poco de realismo, e incluso pesimismo.

Arkani-Hamed interviene 9 veces durante 9'27". Es el investigador que más habla sobre las inconsistencias que existen con el modelo estándar de la física, y sobre la necesidad de llevar a cabo el tan esperado experimento de la colisión para poder obtener datos y conocer más. Asimismo, explica a la audiencia la idea del multiverso en contraposición a la supersimetría, menciona algunas inconsistencias que existen en la física actual, y cómo el experimento arrojaría datos que ayudarían a resolver algunas preguntas. También se muestra molesto y frustrado cuando el LHC es puesto en pausa debido a la fuga de helio, luce irritado ante el hecho de que el CERN haya realizado una presentación a los medios de un evento tan "insignificante" como poner en marcha el experimento.

Respecto a la clasificación de Silverstone (1984), Arkani-Hamed podría encajar en el rol de científico como pensador, ya que frecuentemente aparece a cuadro escribiendo ecuaciones, y en tanto físico teórico, se muestra produciendo conocimiento. Es importante resaltar que no sólo se le ve realizando esta actividad, también se retrata su vida cotidiana (ordenando comida en un restaurante y conviviendo con otros colegas, discutiendo sobre la gran expectativa que generan los resultados que emitirá el CERN, impartiendo clases y discutiendo con colegas y alumnos).

Savas Dimopoulos

Dimopoulos es doctor en física de partículas, académico de la Universidad de Stanford. Trabajó en el CERN entre 1994 y 1997. Por más de 30 años ha dedicado su vida académica a formular teorías alrededor de la partícula Higgs que van más allá del modelo estándar. Una de las teorías que ha desarrollado espera ser confirmada por los datos arrojados en el LHC. Sin duda es un veterano en su campo, preocupado porque aquello que ha estudiado durante más de tres décadas esté en el camino correcto. En el documental se muestra ecuánime, paciente y sabio, los comentarios que hace sobre la vida y la experiencia del ser humano en el mundo demuestran su capacidad analítica y su amplia experiencia de vida.

Aparece 9 veces a lo largo del documental, sus intervenciones tienen una duración de 7'20". Habla de su infancia y sus orígenes turcos, de cómo los problemas políticos y sociales que padeció junto a sus padres lo instaron a estudiar un área del conocimiento "libre de controversia". A partir del comentario anterior (y de intervenciones subsecuentes) Dimopoulos revela parte de su manera de concebir la física (y la ciencia en general), deja implícito que para él la física consiste en una búsqueda constante y paciente de "la verdad", donde el resultado no se construye para satisfacer las creencias de un grupo en disputa con otro (como ocurre en, por ejemplo, la política), es "independiente y objetivo". En su penúltima intervención (89:23-91:09) menciona que la masa de 125 GeV de la Higgs no excluye ni confirma ninguna de sus teorías ("...los datos son tan confusos que no excluyen ninguna de las teorías que realicé, pero tampoco las confirma"). Algunos de estos comentarios revelan rasgos positivistas, pues considera que la ciencia es un área objetiva en la cual no interviene la decisión de grupos de poder. Asimismo habla de "leyes de la naturaleza", como si se tratara de un objeto que existe *per se* en el mundo que los investigadores "descubren" y describen objetivamente.

Dentro de las categorías de Silverstone (1984), Dimopoulos encaja en el perfil de científico como pensador, ya que a lo largo del documental se muestra escribiendo ecuaciones (ya sea en papel o en pizarrón) o impartiendo clase, aunque también se le aprecia realizando otras actividades que no se relacionan con su profesión (como cuando pasea en teleférico sobre los alpes franceses, o prepara su café, o conversa con colegas). En general queda claro que se dedica a formular planteamientos que ayudan a otros a desarrollar teorías, o teorías que él mismo ha logrado desarrollar. Por otro lado, al igual que Gianotti, Dimopoulos juega el rol de mentor, pues sus aportaciones no sólo versan alrededor de la ciencia, sino también sobre la vida y su experiencia en esta.

Martin Aleksa

Aleksa diseñó uno de los componentes más importantes del detector ATLAS: el calorímetro de argón líquido. En 2011 fue elegido para coordinar el control de carrera del ATLAS y es el responsable general de recopilar los datos de este detector. Interviene en 4 ocasiones por no más de 1'41". Aunque no habla mucho frente a cámara aparece en diversas ocasiones trabajando en el CERN y también es presentado en su rutina familiar (secuencias 15 y 25); es gracias a la convivencia con sus hijos que el espectador observa un experimento básico de física (cuando Aleksa muestra a sus hijos un vaso lleno de agua, cubierto por una tarjeta postal, que pone de cabeza pero no se derrama a consecuencia de la presión que ejerce el aire sobre la tarjeta postal y el agua contenida en el vaso), que ilustra la curiosidad del ser humano. Generalmente luce amable y colaborativo con sus colegas, en un par de ocasiones señala que aunque el bosón de Higgs no sea detectado, los datos arrojados por el experimento valen la pena. Al igual que Gianotti, Aleksa es mostrado mientras trabaja en equipo, o bien en conversaciones con Dunford sobre el tan esperado resultado de los primeros datos arrojados por los diferentes experimentos.

El rol de Aleksa a cuadro no parece tener una referencia dentro de la clasificación de Silverstone (1984), pues no es presentado como el típico científico pensador, ni como científico técnico, ni científico demostrador, ni científico obrero, y tampoco como científico intérprete. Aleksa es presentado como un científico humano, en el sentido de que muestra parte de su vida privada, y su convivencia en familia; esto ayuda a desvanecer la rigidez con la que normalmente se muestra a los científicos, definitivamente humaniza la profesión.

Mike Lamont

Lamont se encarga de revisar aspectos relacionados con la ingeniería de la máquina de colisiones. En tanto líder de operaciones del haz, asume completa responsabilidad para poder generar haces de protones indispensables para los experimentos. Generalmente es el encargado de arreglar los desperfectos, y hacer lo necesario para que todo marche como debe. En el documental se muestra casi siempre entusiasta, aunque preocupado por la presión que carga sobre sus hombros, pues es el responsable de arreglar la fuga de helio en los tiempos establecidos. Hay sólo 3 intervenciones de Lamont a lo largo del documental y tienen una

duración de 1'. Encaja en la clasificación de científico como obrero propuesta por Silverstone (1984), ya que se le observa coordinando un equipo, y en reuniones para acordar los arreglos necesarios ante la fuga de helio. Asimismo, Lamont (junto con Gianotti y Aleksa) es uno de los investigadores que se observa en reuniones, es decir trabajando en equipo con otros miembros de esa comunidad científica del CERN.

Cada uno de estos siete investigadores representa una personalidad diferente, por lo que el público puede sentir afinidad (lo que comúnmente se conoce como identificarse con el personaje), con cualquiera de ellos, lo que hace más fácil seguir la trama del relato. Todos hablan a la cámara sobre su especialidad en física, de manera que son presentados como expertos en su particular área científica. Asimismo son mostrados por Levinson como una suerte de detectives⁷⁹ que, a lo largo del documental, van reuniendo información arrojada por los resultados del LHC, para esclarecer si la masa de la Higgs se acerca a los 115 Giga-electrón-voltios, GeV (lo cual haría más plausible la teoría de la supersimetría), o a los 140 GeV (que implicaría que la idea del multiverso es más cercana a la realidad, pero también que muchas de las ideas planteadas en la física teórica son erradas y deben modificarse). Para lograr esta misión, deben superar varios obstáculos, por ejemplo la fuga de helio en los imanes superconductores, o el constante escrutinio por parte de los medios de comunicación, o el temor a fallar y no obtener los datos que buscan.

Personajes secundarios

Estos aparecen en el documental y cumplen una función, aunque no son protagónicos: Peter Higgs aparece en la secuencia 24 para aportar drama y emotividad a la narración, pues él es testigo de cómo los planteamientos teóricos que llevo a cabo en los años sesenta son consistentes con los datos obtenidos por el experimento del LHC.

Otro personaje que aparecen en el documental es Rolf-Dieter Heuer, entonces Director General del CERN, aparece también en la secuencia 24, cuando se presenta la segunda ronda de resultados en presencia de Higgs; su participación es circunstancial, pues únicamente presenta a los directores de cada proyecto, al final de la secuencia (después de que se anuncia la detección exitosa del Higgs) felicita a todo el personal del CERN, es decir, reconoce que es un trabajo en equipo exitoso.

Un personaje secundario más es Lyn Evans, Director del Proyecto LHC, quien aparece en las secuencias 9 y 25. En la secuencia 9 es él quien dirige el primer lanzamiento de haces de protón, entonces ocurre el primer momento de suspense (con su resolución positiva posterior), pues por breves segundos el monitor no detecta el paso del haz, por lo cual se nota nervioso y consternado.

⁷⁹ De acuerdo a los roles planteados por León para integrar una ficha de análisis de documentales científicos (León *et al.*, 2010, p. 22).

Otro personaje secundario es Ricardo Barbieri, físico teórico de la Universidad de Pisa, quien aparece en la secuencia 21 conversando con Dimopoulos. A lo largo de la charla Barbieri se muestra desanimado y preocupado porque no está seguro de que los primeros resultados arrojados por el experimento favorezcan las teorías sobre las cuales ha basado su investigación durante más de 40 años. Su participación aporta drama y también ayuda al espectador a identificar el valor inherente al trabajo de investigación de décadas, y lo que implicaría que los resultados del experimento revelen un camino diferente al que ha sido estudiado durante largo tiempo por varios investigadores.

Por otro lado, también está el equipo de investigadores que aparece liderado por Mike Lamont en la secuencia 14, y que discuten las estrategias y el tiempo que va a tomar arreglar la fuga de helio. Aunque este grupo aparece en una sólo ocasión, da cuenta del trabajo en equipo, de las estrategias de negociación, y revela un poco de los conflictos entre grupos de investigadores.

Finalmente, la familia de Aleksa (esposa y dos hijos) aparecen en un par secuencias (la 15 y la 25), y aunque no hablan frente a la cámara, permiten que Aleksa se muestre en otra faceta de su vida y no sólo como científico. En la secuencia 25 la esposa de Aleksa comenta que la detección de la Higgs fue la gran noticia del día, Aleksa se muestra feliz, de pronto su hijo los interrumpe para pedirles comida, y la charla termina, Aleksa vuelve a su vida cotidiana.

Personajes antagonicos

No hay como tal una persona que encarne el rol de personaje antagonico, pero se podría atribuir en conjunto a los medios de comunicación que están al acecho constante. Y es que los investigadores muestran miedo a fallar ante la presencia de los medios, porque asumen que no van a ser comprensivos sino flagelantes, y corren el riesgo de ser linchados en la arena pública. Esto se denota en la secuencia 18 cuando Gianotti y otra investigadora discuten discretamente sobre la presencia de los medios en el momento de la primera colisión (29 de marzo de 2010), Gianotti asegura “el problema es que si fallamos frente a ellos, será un desastre (...)”, la otra investigadora contesta “lo sé, pero estarán muy molestos [los medios de comunicación] si llegan y se enteran de que ya la hicimos [la primera colisión]...”, Gianotti luce frustrada y preocupada. Asimismo, en la secuencia 9, el día del lanzamiento de prueba del primer haz (10 de septiembre de 2008) se muestran imágenes en *stock* de noticieros informando sobre el lanzamiento, pero también especulando sobre las consecuencias de lo que podría ocurrir al iniciar el experimento (en *off* se escucha una narración televisiva que advierte que un grupo de “científicos marginales” cree que el colisionador podría generar un hoyo negro que tragaría a la Tierra. Asimismo la cámara detalla la portada de un periódico cuyo encabezado es “El mundo va a desaparecer el 10 de septiembre”). Poco después aparece Gianotti hablando por teléfono con algún medio, desmintiendo los rumores propagados sobre el posible fin del mundo por el inicio del experimento, asevera seriamente: “es absurdo y no tiene sustento científico alguno lo que usted dice. No es posible que el LHC vaya a destruir el mundo, es absolutamente ridículo”.

- *Conflicto, suspense y resolución*

Conflicto

Los siete investigadores principales han pasado su vida académica estudiando la física de partículas a partir del modelo estándar que se configuró poco a poco, principalmente desde los años 20 del siglo XX, hasta la actualidad y cuya completitud no se ha alcanzado. De los siete investigadores, cuatro son experimentales (Gianotti, Dunford, Aleksa y Lamont) y tres son teóricos (Kaplan, Dimopoulos y Arkani-Hamed). El grupo de experimentales trabaja en el LHC del CERN. El grupo de teóricos se dedica a la academia (a labores de investigación y docencia), principalmente. Tanto los experimentales como los teóricos ansían que el experimento se ponga en marcha y comience a generar datos que conduzcan, entre otros objetivos, a la detección de la partícula conocida como bosón de Higgs. El conflicto radica en la presión que existe para que el experimento funcione y arroje datos que conduzcan a la detección de la Higgs. Esta gran expectativa proviene tanto de la comunidad científica, como de la sociedad en general, representada por los medios de comunicación que quieren presenciar el gran momento para informar cualquier acontecimiento importante. Para los científicos más veteranos la tensión radica en que lo revelado por el experimento quizá derrumbe las teorías sobre las cuales han trabajado a lo largo de su trayectoria profesional (entre 15 y 30 años). Por otro lado, este experimento ha implicado un significativo gasto monetario (alrededor de 6 mil millones de dólares, o 4 mil millones de euros) y el trabajo de más de 10 mil científicos de diversas nacionalidades (aunque principalmente europeos). A continuación se enumeran los momentos de *suspense* en la narrativa.

Suspense

A lo largo del documental hay por lo menos tres momentos de *suspense* que se detallan a continuación: el primero (27:07) ocurre el 10 de septiembre de 2008, día de la prueba del lanzamiento del primer haz de protones, exactamente cuando el director del proyecto, Lyn Evans, lleva a cabo la cuenta regresiva para liberar el primer haz que va a girar dentro de la gran circunferencia, da la orden y espera que haya alguna señal, pero no ocurre nada (la música de *suspense* levanta sospechas), Evans repite la cuenta regresiva, a los pocos segundos el monitor detecta el haz (la música cambia de *suspense* a alegre), los investigadores se muestran jubilosos.

El segundo momento de *suspense* (64:20) ocurre el 30 de marzo de 2010, día en que se espera la primera colisión entre los dos haces de protón girando en direcciones opuestas. Gianotti y el resto de los investigadores miran fijamente los grandes monitores en la sala de control para poder identificar el momento (los medios están también a la expectativa); comienza a sonar el inicio de *Sinfonía n° 9 Op. 125 en Re menor (coral)* de Beethoven, de pronto los monitores indican que la colisión ha ocurrido, el himno a la alegría estalla en la parte coral, todos los investigadores lucen alegres y celebran la colisión con gritos y vítores (la animación presenta las diversas imágenes producto de la primera colisión, junto con imágenes e ilustraciones del

universo, pasajes y personajes importantes en la historia de la ciencia, como Galileo, o la doble hélice de ADN).

El tercer momento es el de mayor suspense a lo largo del documental (85:03), sucede el 4 de julio de 2012. Rolf-Dieter Heuer, director general del CERN, anuncia la presentación de los resultados de los experimentos CMS y ATLAS para determinar si el Higgs fue, o no, detectado. Todos los investigadores y estudiantes esperan con ansias, Peter Higgs llega al auditorio. Después de que el director del proyecto CMS concluye que la masa del Higgs es de 125.3 GeV, Gianotti sube al estrado, presenta sus resultados, concluye su presentación cuando muestra la masa del Higgs, que es de 126.5 GeV. Todos se alegran, aplauden y celebran la detección (la música es de expectativa, pero al llegar a los aplausos desaparece), Peter Higgs seca sus lágrimas, los aplausos continúan, los investigadores le piden a Higgs que hable, este se dice privilegiado de haber presenciado este momento (la música se torna festiva).

Resolución

La resolución del conflicto ocurre una vez que los investigadores presentan los resultados y confirman la detección de la partícula Higgs. Los datos sobre la masa de la Higgs no son lo que esperaban, el peso se ubica en 126.5 GeV; este dato confirma la detección de esta partícula, pero no alcanza a “excluir” o “confirmar” ideas sobre la supersimetría planteadas por Dimopoulos. Arkani-Hamed asegura que los resultados confirman que la física “funciona”, aunque “abre la puerta a paradojas importantes que deben ser analizadas”. Dunford menciona que es necesario hacer ajustes en el experimento, apagar el LHC, mejorarlo y probar de nuevo en el futuro para obtener más datos, resolver varias dudas que quedan en el aire, sobre todo lo concerniente a la supersimetría y el multiverso. Es decir, en general los investigadores consiguen uno de los objetivos: detectar la partícula Higgs, pero deben seguir trabajando en experimentos posteriores para contrastar las teorías que plantean.

- Descripción de la representación de la ciencia

A lo largo del documental se definen, y explican, términos y conceptos como: gran acelerador de hadrones (LHC), física experimental, física teórica, átomo, partícula, modelo atómico estándar, partícula Higgs, teoría de supersimetría, idea del multiverso. Asimismo se explican las interrelaciones entre los conceptos científicos, como la relación entre el LHC y la detección de la partícula Higgs. En algún momento también se explica la manera en que la teoría física actual se modificaría si los resultados arrojados por el LHC no fueran los esperados. También se habla de la importancia de hacer investigación en ciencia básica, y se aclara que no toda la investigación en ciencia básica deriva en tecnología y/o en beneficios económicos.

La explicación de interrelaciones entre conceptos científicos ocurre a lo largo del documental; por ejemplo, casi desde el inicio (05:05-08:00), Kaplan explica en qué consiste el LHC y para qué sirve; lo describe como un experimento por medio del cual los investigadores intentan

comprender las leyes más básicas de la física. Asimismo detalla el trabajo que realizan los físicos experimentales y los físicos teóricos, y la necesidad colaborativa entre ambas áreas.

Por otro lado, también destaca el grado de contextualización de la ciencia que se describe en este documental, el cual es medio. Es decir, se habla del LHC y se informa sobre el contexto en el cual fue planteado y construido, se habla de su historia y de su importancia para la comunidad científica. Por ejemplo, alrededor del minuto 16:00, Kaplan hace un breve repaso por la historia del descubrimiento de las partículas que componen el átomo; asimismo, en la animación que acompaña dicha explicación, se observan fotografías de los diferentes científicos que han contribuido al estudio de partículas a lo largo de la historia.

Frecuentemente se hace hincapié en que el LHC es un gran experimento cuyos resultados podrían modificar la forma en que se ha estudiado la física durante décadas. También hay una contextualización cultural porque se expone que en el CERN laboran más de 10 mil científicos de diversas nacionalidades. Los siete investigadores protagonistas (Gianotti, Kaplan, Dunford, Arkani-Hamed, Dimopoulos, Aleksa y Lamont) no sólo dan cuenta de su trabajo en el CERN, también hablan acerca de su historia de vida y su cotidianidad, así el espectador aprecia que cada uno de ellos tiene orígenes culturales diversos (Gianotti es italiana, Kaplan y Dunford son estadounidenses, Arkani-Hamed es canadiense con ascendencia iraní, Dimopoulos es griego, Aleksa es austriaco y Lamont inglés). La nacionalidad, formación académica y contexto social, cultural y político del cual proviene cada uno de los protagonistas, influye en su visión del mundo y de la ciencia; por ejemplo, en el minuto 94:38 Gianotti habla de la importancia que tienen la ciencia y el arte (Gianotti estudió piano) pues dice que ambas son una necesidad de la humanidad, y también cita un pasaje de *La divina comedia* en la cual se asevera que los humanos no debemos vivir como animales, debemos buscar el conocimiento y la virtud.

Asimismo, entre el minuto 89:30 y el 89:58 Dimopoulos asegura que la detección del Higgs lo hizo sentir orgulloso no sólo como parte de la comunidad científica, sino de la humanidad, porque fueron las personas de un pequeño planeta, con cerebros pequeños, quienes profundizaron en el conocimiento de esta área. Esto refleja a la comunidad científica como parte de una sociedad, no como personas aisladas del contexto donde viven. Al final del documental (94:04) Arkani-Hamed le comenta Dimopoulos sobre el documental de Werner Herzog *Cave of forgotten dreams* (2010), sobre las pinturas rupestres plasmadas en una cueva de Chauvet, en Ardèche Francia, descubiertas accidentalmente en 1994, y que datan de hace más de 30 mil años. Kaplan compara el descubrimiento y descripción de los animales plasmados en la cueva de Chauvet, con la investigación científica contemporánea, pues ambas son realizadas por seres humanos que se atrevieron a salir al mundo y plasmar sus descubrimientos.

Lo anterior se contrapone a lo observado por Silverstone (1984) en *The death of the dinosaurs* (1981), documental en que, de acuerdo con este autor, se presenta a la ciencia como una labor

individualista, realizada por científicos que siempre lucen elocuentes y exitosos “(...) los científicos generalmente no tienen familias, verrugas, balbuceos, mal humor o colegas difíciles; no son ni estúpidos, ni glamorosos, ni irracionales, ni depresivos, casi siempre son desinteresados” (páginas 400 y 401). Considerando la clasificación, de este mismo autor, sobre los cinco roles asignados a los científicos en la narrativa de los documentales de ciencia (científico como pensador, como técnico, como obrero, como demostrador, o como intérprete), cabe señalar que en *Particle Fever*, es posible apreciar dos de ellas: Kaplan, Arkani-Hamed y Dimopoulos son mostrados mayormente dedicados a un trabajo intelectual, escribiendo en papel, computadora o en el pizarrón, garabateando fórmulas matemáticas; en menor medida, Dunford también aparece en un par de ocasiones revisando libros y escribiendo en la computadora. El otro rol que se puede observar en este documental es el de científico como técnico: Lamont encarna esta caracterización, puesto que es él quien se encarga de las reparaciones de los imanes; Dunford (al ser física experimental) también se muestra arreglando cables (incluso ella misma señala que debido a la fuga de helio ha tenido que cambiar su vestimenta por ropa de trabajo, pues debe arrastrarse por el suelo para hacer las reparaciones necesarias). El rol de científico como demostrador es encarnado por Gianotti quien, en tanto jefe del experimento ATLAS, hacia el final del documental presenta a la audiencia los resultados parciales posterior a las colisiones, lo hace con ayuda de gráficas, modelos y otras herramientas audiovisuales que apoyan sus resultados. Por otro lado, Gianotti se muestra repetidamente en labores de coordinación y negociación con colegas. Relacionado con lo anterior, considero que Silverstone olvidó una clasificación (o quizá no era visible en el momento en que hizo su análisis), esta consiste en el científico como parte del equipo de trabajo. La interacción y colaboración entre colegas (entre los protagonistas, y con el resto del personal en el CERN y en otros recintos científicos, como las universidades) aparece repetidamente en *Particle Fever*, los investigadores que se muestran en esta situación con mayor frecuencia son Gianotti y Lamont, pues este último coordina las reparaciones y negocia el tiempo que tomará solucionar los desperfectos.

Finalmente, en el documental no hay un cuestionamiento directo al trabajo científico o a las personas que lo realizan, el tono argumentativo epidéctico sobresale, es decir trata de convencer al espectador de que tiempo, trabajo, dinero y otros recursos invertidos en los experimentos del CERN tuvieron resultados satisfactorios (porque se logró detectar el bosón de Higgs). Asimismo, casi desde el inicio del documental se apela a las virtudes de la ciencias básica, y aunque es encomiable que priorice este por encima de la ciencia aplicada (como hacen diversos documentales de ciencia), tiene como desventaja la falta de actitud crítica hacia el trabajo científico y las personas que lo realizan.

Aquí concluye el nivel narrativo analítico-descriptivo, que consiste en la descripción y análisis de los personajes (protagónicos, secundarios, antagónicos) las acciones que realizan (y la jerarquía entre estos), de las situaciones de conflicto, *suspense* y resolución, y de la representación de la ciencia. En el siguiente nivel se presenta una síntesis, descripción y análisis de la narración; y se

lleva a cabo una descripción de la manera en que las unidades mínimas de significación visual y sonora se agrupan en motivos y temas.

3.4.2. Narrativo semántico

Este nivel consiste en la descripción de la manera en que se agrupan las unidades mínimas de significación (signos visuales y sonoros) para conformar motivos⁸⁰, que a su vez constituyen temas⁸¹ que configuran un todo narrativo; es decir la forma en que cada pieza de la narración va despejando una parte de significación de todo el documental en conjunto. Para el fin anterior, primer se lleva a cabo síntesis, descripción y análisis de la narración en el documental.

- *Síntesis, descripción y análisis de la narración*

El modo de expresión dominante en *Particle Fever* es principalmente narrativo, es decir cuenta una historia, relata hechos organizados cronológicamente; asimismo constituye un relato de experiencias de los siete investigadores que aparecen a cuadro. La posición del narrador es homodiegética porque se encuentra dentro del relato, es decir, los protagonistas son testigos de los acontecimientos que relatan a la cámara. Asimismo, el punto de vista del narrador es en primera persona, pues se trata de narradores protagonistas o narradores testigos. Por otro lado, la línea narrativa consiste en una cronología lineal sin flashbacks ni flash forwards. De hecho, el relato podría encontrar correspondencia con la propuesta de Vogler (2002) basado en Campbell (1972), pues la narración tiene lugar en tres actos, los investigadores protagonistas realizan una suerte de viaje que guía al espectador. A continuación se describen las etapas de la narrativa descrita por Vogler (basado en Campbell), y se advierte su correspondencia en *Particle Fever*:

Primer Acto

1. El mundo ordinario: en el primer episodio se explica en qué consiste el experimento a realizar en el LHC, su importancia, orígenes, problemas, y propósito. Asimismo se describe la importancia del trabajo en equipo entre los físicos experimentales y los teóricos para el desarrollo del experimento.
2. El incidente incitador: se muestra a los investigadores que laboran en el CERN preparar el inicio del experimento.
3. El llamado a la aventura: en el episodio 2 se describen cuatro de los experimentos que tendrán lugar en el gran acelerador de hadrones, uno de ellos consiste en detectar la partícula Higgs.
4. El rechazo al llamado
5. El encuentro con el mentor

⁸⁰ Los motivos constituyen la primer forma de unidad más compleja que las unidades mínimas de significación, visuales y sonoras. Los motivos consisten en agrupaciones de las unidades mínimas de significación (Amador, 2017, pp. 87 y 88).

⁸¹ Los temas se forman a partir de las combinaciones de motivos, articulan una composición más compleja de significación (Amador, 2017, pp. 87 y 88).

6. La travesía del primer umbral (clímax del primer acto): en el episodio 3 los científicos logran poner en marcha el experimento bajo la mirada inquisitiva de los medios, es decir, atraviesan con éxito la primera prueba.

Segundo Acto

7. Pruebas, aliados, enemigos
8. La aproximación a la caverna más profunda: en el episodio 5 se presentan las dificultades por las que atraviesan los protagonistas para completar su misión, la cotidianidad de los científicos es interrumpida por la fuga de helio líquido, esto detiene el experimento.
9. La odisea (calvario-clímax del segundo acto): en el episodio 6 se explican los dos posibles resultados que va a arrojar el experimento del LHC, es decir, se describen los dos rumbos posibles que hay al final de la búsqueda.
10. La recompensa: en el episodio 7 los protagonistas logran superar las dificultades atravesadas, continúan con el experimento y hacer colisionar con éxito los dos haces de protón, evento necesario para recabar datos y con base en eso realizar los análisis de detección de la Higgs.

Tercer Acto

11. El camino de regreso: en el episodio 8 los datos arrojados (producto de la primera y subsecuentes colisiones) son analizados por diversos grupos de investigadores que laboran en los diferentes experimentos asociados. En un primer momento hay incertidumbre, porque los primeros resultados no satisfacen las expectativas de los científicos.
12. La resurrección: en el episodio 9, después de la incertidumbre y el misterio, los protagonistas presentan los resultados de su investigación que, a pesar de no ser lo esperado, confirman el final de la misión, confirman la detección de la Higgs.
13. El retorno con el elixir: en el episodio 10 los investigadores hablan de la importancia de la detección de la partícula Higgs (para la ciencia, pero también para la humanidad). Dimopoulos, Arkani-Hamed, Dunford, Kaplan y Gianotti analizan los resultados, no eran lo esperaban, los resultados son temporales.

- *Motivos y temas presentes en Particle Fever*

Existen principalmente cinco motivos presentes en *Particle Fever*, que ya se describieron brevemente en los niveles formal semiótico y simbólico semántico, y que surgen de los principales encuadres empleados en un documental de ciencia: a) Testimonios de investigadores (en encuadres de media figura, primer plano y en algunas ocasiones hasta primerísimo plano, con un fondo neutro y un poco fuera de foco con la intención de que el protagonismo se centre en lo que dice el investigador); b) Aparatos tecnológicos, o lo que Silverstone (1984) denomina “imágenes tecnomórficas”, y que consiste en presentar aparatos que emplean los investigadores mediante imágenes grandilocuentes (casi siempre en encuadres abiertos como campo largo y campo medio; con *tilt-up*, *tilt down*, *pan right* y *left* como principales movimientos de cámara); c) Paisajes (casi siempre en encuadres como campo

larguísimo, campo largo y campo medio; con *tilt-up*, *tilt down*, *pan right* y *left* como principales movimientos de cámara), en el caso de este documental se muestran los alpes franceses y los exteriores del CERN; d) Ecuaciones escritas en: pizarrones, hojas de papel, computadoras, *tablets*, entre otros, esto es lo que Silverstone (1984) denomina “imágenes semiomórficas” (casi siempre encuadradas en planos cerrados como el plano detalle); y e) Conjunto de investigadores trabajando en oficinas, salones, salas de control, auditorios, cafeterías, generalmente en lugares cerrados al interior de instalaciones científicas (casi siempre encuadrados en campo total, figura entera o plano americano).

El conjunto de motivos expresados en *Particle Fever* construyen al menos tres temas: “el viaje”, “narrativa de la búsqueda” y “búsqueda de la verdad” (León, 1999 y 2010, los denomina *leitmotifs*). El viaje se refiere a una narrativa donde los protagonista(s) se embarcan en una aventura o experiencia que antes les era desconocida, llevan a cabo acciones que jamás hubieran imaginado y que los transforma, o transforma su manera de pensar y percibir el mundo. Asimismo, la narrativa de la búsqueda se refiere a un proceso similar, en tanto que los protagonistas emprenden una experiencia para buscar algo preciado (físico o conceptual), que en el caso de *Particle Fever* consiste en la partícula bosón de Higgs. Finalmente, la narrativa de búsqueda de la verdad se refiere, al igual que la anterior, al rastreo de un bien valioso inmaterial, a la búsqueda de un conocimiento o experiencia imprescindible para los protagonistas, en el caso del documental más allá de haber logrado la detección de la Higgs, la “verdad” remite a la contrastación de las teorías que los físicos han propuesto durante décadas. Aunque al final del documental no hay como tal una “verdad” pura, los investigadores quedan satisfechos con los resultados arrojados por el experimento; en ese sentido, se considera que la búsqueda cumplió con el propósito, aunque no obtuvieran resultados exactamente como ellos esperaban.

3.4.3. Narrativo histórico-cultural:

Este nivel consiste en situar histórica y culturalmente el documental y su(s) autor(es). Una obra audiovisual difícilmente puede atribuirse únicamente al (la) director(a), otro(a)s miembros del equipo de producción, como fotógrafo(a)s, editore(a)s, productore(a)s, también contribuyen al producto final. Este nivel tiene cuatro momentos analíticos: en primer lugar se realiza una descripción de las prácticas del equipo de producción (para situar histórica y culturalmente a los autores de tal obra); posteriormente se describe el contexto histórico y cultural en que se produjo y exhibió el documental. Asimismo, se lleva a cabo un análisis histórico-cultural del documental desde la perspectiva del intérprete en dos temas: por un lado se describen las características importantes del trabajo científico identificadas en *Particle Fever*, y por otro se detalla la función social de este documental.

- *Descripción de las prácticas del equipo de producción de Particle Fever*

Particle Fever consistente en una obra filmica que difícilmente podría atribuirse a una sola persona, aunque el director orquesta y organiza, lo hace siempre con ayuda de diversos

profesionales de la producción. Por ejemplo, la participación de David Kaplan (en tanto coproductor) fue importante para desarrollar el proyecto y preparar la producción. Asimismo, durante la filmación, la habilidad y trayectoria de los cinefotógrafos Claudia Raschke-Robinson y Wolfgang Held fue fundamental para registrar momentos importantes de una manera particular, para generar emociones determinadas en el espectador. Finalmente, en el proceso de posproducción, tanto la musicalización (a cargo de Robert Miller), como la edición (magistralmente confeccionada por Walter Murch) resultaron acertadas gracias a la amplia experiencia de sus ejecutantes. Por lo tanto, en el primer segmento de este nivel narrativo histórico-cultural se presenta la descripción de las prácticas (formación, trayectoria filmográfica, y experiencias de vida) de los profesionales (director, productor, cinefotógrafos, musicalizador y editor) que contribuyeron a configurar *Particle Fever*, pues indudablemente su experiencia repercutió en el estilo particular de este documental.

Desde su juventud Mark Levinson mostró interés por la ciencia y el arte. A principios de los años ochenta estudiaba el doctorado en física de partículas, en la Universidad de California, Berkeley. Al mismo tiempo, en sus ratos libres, trabajaba proyectando películas en el Pacific Film Archive (complejo cinematográfico dentro del Berkeley Art Museum, asociado a esta Universidad). El arte y la cinematografía resultaron tan atractivas para el joven Levinson que estuvo a punto de abandonar el doctorado, pero su tutor, el Dr. Geoffrey Chew (ahora profesor emérito de la Universidad de California), lo animó, y ayudó, a concluir su posgrado (Sanders, 2014). Levinson considera que el arte y la ciencia son similares porque ambos implican innovación, pues tanto los artistas como los científicos tratan de dar sentido al mundo que los rodea, así como representarlo para lograr una visión de él, y de comprender el lugar que ocupamos los humanos en el universo (McCabe, 2014).

En *Particle Fever* Levinson retoma su interés académico por la física de partículas, pero también aprovecha para mostrar las similitudes entre ciencia y arte. Por ejemplo, hacia el final de la secuencia 11 Gianotti habla sobre las semejanzas entre la física y la música (mientras toca el piano) ya que esta se guía por reglas de armonía que se relacionan con física y matemáticas. Posteriormente, en la secuencia 25, la misma Gianotti cita una frase de *La divina comedia* de Dante: “no nacimos para vivir como animales, sino para buscar el conocimiento y la virtud”, y asegura que la ciencia y el arte son necesidades de la humanidad, y por lo tanto son igualmente importantes. Finalmente, sobre la representación del mundo que llevan a cabo tanto artistas, como científicos, cabe recordar el final de la secuencia 25, cuando Arkani-Hamed comenta a Dimopoulos las pinturas rupestres halladas en la cueva de Chauvet; posteriormente Kaplan asegura que así como los antiguos pobladores documentaron los animales que había en el exterior, ellos (físicos) “descubren” una parte del mundo desde su perspectiva y las preocupaciones del presente.

En la vida de Levinson la transición de una carrera en física a la industria cinematográfica tuvo lugar al concluir sus estudios doctorales, pues encontró una vacante como aprendiz de asistente

de producción. Sus nuevos compañeros de trabajo se sorprendieron de que un doctor en física de partículas incursionara al ámbito cinematográfico. Además de asistencia de producción, Levinson se dedicó a buscar locaciones para filmar (*scouting*), también trabajó en el departamento de arte, y estuvo encargado del servicio de alimentación; en esta última área conoció a varios directores y editores, uno de ellos le enseñó esta labor. Levinson quedó fascinado con la posproducción, y se especializó en grabación de diálogos para la edición de sonido (especialidad conocida como ADR, siglas para *Automatic Dialog Replacement*). Trabajó como supervisor ADR en filmes como *Twin Peaks: fire walk with me* (1992) de David Lynch, y *Seven* (1995) de David Fincher. Asimismo colaboró con Anthony Minghella en *The English patient* (1996), *The Talented Mr. Ripley* (1999), y *Cold Mountain* (2003), estos últimos editados por Walter Murch (editor de *Particle Fever*), a quien Levinson conoció en 1988, y con quien mantenía amistad a partir de una plática sobre teoría de cuerdas, pues Murch es un entusiasta de la física (McCabe, 2014).

Hacia 2006 Levinson quería reunir su pasión por la ciencia y el cine en un documental que mostrara a la ciencia de manera realista y atractiva. Comenzó a escribir un guión y lo presentó a un grupo de inversores de Silicon Valley, estos le contaron a Levinson que un físico (David Kaplan) también había solicitado dinero para filmar un gran experimento, pero fue rechazado por carecer de experiencia cinematográfica. Levinson llamó a Kaplan y se reunieron en el verano de 2007; decidieron producir juntos un film sobre el LHC del CERN. Levinson advirtió a Kaplan que “no quería hacer un documental de ciencia que explicara la física de partículas, sino un drama con buenos personajes en el que pudiera desarrollar sus habilidades narrativas”, Kaplan estuvo de acuerdo (McCabe, 2014).

El rodaje de *Particle Fever* comenzó en 2007, primero Levinson entrevistó por teléfono a los físicos experimentales, luego acudió al CERN para ver el lugar y conocer a los investigadores en persona. Director y fotógrafos (Raschke-Robinson y Held) definieron el estilo para las entrevistas: bien iluminado, organizado, con encuadres estilizados que contrastarían con el resto del material (que sería muy *cinema-verité*). Una de las primeras investigadoras entrevistadas fue Mónica Dunford, Levinson y el equipo de filmación coincidieron en que ella sería una gran aportación al documental (McCabe, 2014). Desde el principio Levinson quiso marcar la diferencia entre físicos teóricos y experimentales, mostrando a los segundos en situaciones dramáticas (principalmente en la sala de controles). Otra dicotomía retratada es entre los investigadores que abogan por la supersimetría y los que están a favor del multiverso (Sanders, 2014). Lo anterior resulta evidente incluso en la colocación de los investigadores dentro del cuadro de imagen, al principio del documental los físicos teóricos son retratados en encuadres cerrados y ligeramente hacia la izquierda del centro de la imagen (esto ocurre con Arkani-Hamed, Dimopoulos y Kaplan); mientras que los físicos experimentales (como Gianotti, Dunford y Aleksa) se encuentran ligeramente hacia la derecha. Lo anterior sólo ocurre en la primera mitad del documental, ya en la segunda la posición de los personajes es indistinta, en

algunos momentos algunos de ellos incluso aparecen centrados (esto ocurre sobre todo cuando se graban a sí mismos).

Cuando comenzaron a filmar las entrevistas tuvo lugar el lanzamiento del primer haz de protones, entonces los eventos comenzaron a ocurrir rápida y simultáneamente, y la filmación se descontroló un poco. Levinson asegura que el apoyo del personal de la oficina de medios del CERN fue fundamental, pues le proporcionaron bastante material y le ayudaron a filmar cuando ocurrían eventos simultáneos⁸² (McCabe, 2014). Por otro lado, el hecho de que Levinson y Kaplan fueran doctores en física de partículas fue de gran ayuda para ingresar a esta comunidad científica (generalmente hermética para los extraños) que poco a poco se acostumbró a ser filmada (McCabe, 2014). Lo anterior sin duda se refleja en la naturalidad con la que se muestran los investigadores del CERN, pues no lucen huraños, ni parece molestarles ser filmados en situaciones tensas (como en la secuencia 18, cuando Gianotti y una colega discuten la posibilidad de realizar la primera colisión a escondidas de los medios; o en la secuencia 17 cuando Lamont y una colega bromean sobre el estrés y el consumo de alcohol).

Por otro lado, en el documental Levinson no sólo da cuenta de las actividades que realizan los científicos en el CERN, también muestra recintos universitarios (como la Universidad John Hopkins, la Universidad Stanford y el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton) donde algunos de los personajes principales (Kaplan, Arkani-Hamed, Dimopoulos) laboran. Levinson pudo haber mostrado únicamente el CERN pero, en tanto ex alumno de posgrado en física de partículas, conoce la importancia de la educación académica y su contribución para los proyectos de ciencia a gran escala, como el CERN. Es decir, pudo limitarse a filmar el lugar donde ocurre toda la acción; sin embargo, su experiencia académica lo condujo a retratar la comunidad universitaria y las dinámicas que ahí ocurren (lecciones, discusiones, disertaciones, entre otras), y que también son importantes para la generación de conocimiento. Una vez más el hecho de que Levinson y Kaplan tuvieran un doctorado en física de partículas, y no fueran sólo director y productor del documental, les abrió las puertas del mundo académico (que generalmente es cerrado y elitista) en el CERN, ya que los investigadores los consideraron colegas.

Kaplan, además de ser uno de los siete investigadores protagonistas (y quien más tiempo ocupa en pantalla con 18'35"), es también co-productor de *Particle Fever*. Es físico por la Universidad de California, Berkeley; maestro y doctor en física por la Universidad de Washington; y tiene tres pos doctorados en universidades e institutos de Estados Unidos. En 2002 se unió a la planta docente y académica del Departamento de Física y Astronomía, de la Universidad Johns Hopkins. El trabajo académico de Kaplan se centra en buscar posibles extensiones teóricas al modelo estándar de la física de partículas, y la cosmología, para innovar

⁸² El uso del material filmado por la oficina de medios del CERN se puede constatar, principalmente en la secuencia 9, porque aparece el sello del CERN en la equina superior derecha de las imágenes.

en el descubrimiento de nuevos modelos⁸³. Conoció a Levinson en 2007, después de que se presentó ante un grupo de inversores de Silicon Valley a solicitar financiamiento para grabar el gran experimento del LHC. Como ya se ha comentado, el apoyo le fue negado porque carecía de experiencia en el ámbito cinematográfico, pues su trayectoria era principalmente académica. Kaplan quería grabar el experimento que estaba a punto de ponerse en marcha en el CERN para presentar una “ciencia diferente” a la que generalmente se muestra en televisión: “en la programación del Discovery Channel, y en la mayoría de los documentales de ciencia, la gente no alcanza a mirar la verdadera experiencia emocional que implica ser científico” (McCabe, 2014).

Kaplan ha hablado sobre las grandes expectativas que tuvo de *Particle Fever* desde que comenzaron a planear la producción para “lograr una transformación cultural”, pues considera que el documental puede ayudar a que la ciencia sea parte de una conversación tan cotidiana como la religión. “Pensé que una transformación cultural estaba ocurriendo, y la física de partículas era el campo perfecto para expresarlo porque es algo muy puro, no tiene aplicaciones comerciales ni militares (...) los únicos árbitros son los datos y la consistencia matemática, elementos puros e independientes del ser humano, y pensé que sería genial mostrarle esto al mundo” (McCabe, 2014). Esta postura positivista de la ciencia es expresada en varias ocasiones por varios protagonistas (Kaplan, Dimopoulos, Arkani-Hamed). Por ejemplo, en un par de ocasiones (secuencias 11 y 21) Dimopoulos habla de “saber la verdad”; por otro lado, Kaplan asegura que el experimento podría no servir para nada (es decir, no tener una aplicación comercial o militar alguna) pero ayudaría a comprender el origen de todo. Es decir, a lo largo del documental los protagonistas revelan que consideran la ciencia un área objetiva del conocimiento, ajena a intereses políticos, sociales, económicos, etc. Incluso Dimopoulos narra, en la secuencia 21, que ante los conflictos políticos y sociales en su nación, decidió estudiar algo donde “la verdad no dependiera de la elocuencia del orador”. Esta postura es ingenua, pues la ciencia no es un área ajena a intereses, conflictos sociales, políticos y culturales, varios de estos incluso se muestran en el documental, pues están presentes en el contexto laboral de los investigadores, sin embargo, las declaraciones vertidas denotan que ellos no alcanzan a ver esto.

Kaplan ha asegurado que el primer final que Levinson y Murch tenían planeado no lo satisfacía del todo; entonces el LHC arrojó nuevos datos: “fue hasta que se descubrió la Higgs que estuve contento con el final, hasta que hubo un impacto en los físicos teóricos”. Kaplan quedó plenamente satisfecho con la versión final del documental pues, desde su punto de vista, refleja la realidad que viven los científicos: “la declaración de Savas en la escena del café, cuando menciona que brincar de fracaso en fracaso con el entusiasmo intacto es el secreto para el éxito, describe lo que vivimos los físicos” (McCabe, 2014). Esta declaración es interesante porque Kaplan revela cuan importante le resulta mostrar al público no sólo el proceso del trabajo

⁸³ Consultado el 25 de octubre de 2018 en la página web de la Universidad John Hopkins: <https://physics-astronomy.jhu.edu/directory/david-kaplan/>

científico, sino el resultado. Quizá valora la tensión y el estrés que genera en los investigadores la incertidumbre de los datos.

Particle Fever no es el único proyecto audiovisual, divulgativo, en el que Kaplan ha participado, en 2011 fue co-conductor (junto con Sigrid Close, Andy Howell, Michael J. Massimino y Steve Jacobs) de ocho episodios de la tercera temporada de la serie *Known Universe* (2009-2011), del National Geographic Channel⁸⁴. También ha participado en otros medios de comunicación (como la página web *Big think*, o videos para la National Science Foundation, o *Talks at Google*, entre otros) divulgando física de partículas, los experimentos en el CERN, hablando sobre su trabajo de investigación, entre otros.

Otra de las grandes contribuciones estilísticas de *Particle Fever* es aportada por el trabajo de los cinefotógrafos Claudia Raschke-Robinson⁸⁵ y Wolfgang Held⁸⁶. Y es que fotografiar documentales no es una labor sencilla, ya que las condiciones de iluminación y color no se pueden controlar completamente. Únicamente cuando hay entrevistas a los personajes se pueden dominar mejor tanto la iluminación como los elementos presentes en el cuadro (colores, temperatura, condiciones de luz), pero la mayor parte de lo filmado es generalmente con cámara en mano, siguiendo a los personajes. Sin duda, la experiencia de Raschke-Robinson y Held en este tipo de producciones fue de gran ayuda, y su gran habilidad se refleja en los registros de *Particle Fever*. Por ejemplo, su pericia al filmar momentos tensos o íntimos es notoria, como cuando hacen *zoom in* al rostro y la mirada de Peter Higgs (secuencia 24), o

⁸⁴ Consultado el 28 de octubre de 2018, en la página web de IMDB:

https://www.imdb.com/title/tt1375408/fullcredits?ref_=tt_cl_sm#cast

⁸⁵ Raschke-Robinson creció en el norte de Alemania, cerca de Hamburgo. Pasó su infancia entre salas de cine mirando filmes de Chaplin y Fellini. Al mismo tiempo también desarrolló una fascinación por la danza y la pintura, esto la llevó a estudiar arte y danza en la Universidad de Hamburgo. Su aprendizaje estuvo marcado por maestros como Vermeer, Rembrandt y Martha Graham. En 1983 se mudó a Nueva York y asistió a la escuela de Martha Graham, simultáneamente comenzó a estudiar cine y se especializó en cinefotografía. Pronto comenzó a trabajar con destacados directores de fotografía como Jost Vacano (Osnabrück, 1934) o Stefan Czapsky (Oldenburg, 1950). Su trabajo como cinefotógrafa se ha centrado principalmente en documentales. *Small wonders* (1995), *My architect* (2003), *Sister Rose's passion* (2004) y *God is the bigger Elvis* (2011) fueron nominados al premio de la academia por mejor documental. Asimismo ha trabajado en producciones de divulgación de ciencia para la televisión, entre las que destacan los telefilmes *Too hot not to handle* (2006) coproducido por HBO, y *This emotional life* (2010-2011) producido por PBS (Consultado el 30 de octubre de 2018, en la página web de Claudia Raschke en: <http://claudiaraschke.com/media/DP-ClaudiaRaschke-resume2012.pdf>).

⁸⁶ Held también es alemán y estudió la licenciatura en literatura norteamericana en la Freie Universität de Berlín. Se graduó de la maestría en bellas artes y cine por la Universidad Temple en 1992. Ha trabajado en Nueva York desde finales de los años noventa. Entre los documentales que ha fotografiado destacan *Wigstock the movie* (1995), de Barry Shils; *Children underground* (2001), de Edet Belzberg (nominado a mejor documental por la Academia); *Metallica: some kind of monster* (2004) de Joe Berlinger y Bruce Sinofsky; *Mad hot ballroom* (2005) de Marilyn Agrelo (donde compartió créditos de fotografía con Claudia Raschke-Robinson), y *Crazy love* (2007) dirigida por Dan Klores y Fisher Stevens, *American teen* (2008) de Nanette Burstein (ganadora del premio de la audiencia en el Festival de Cine de Tribeca 2009). Asimismo, en la última década ha viajando alrededor del mundo para filmar los programas de PBS *Half the sky* (2012) y *A path appears* (2014). También rodó, junto al actor Leonardo DiCaprio, el documental *Before the flood* (2016), y el programa de televisión *Years of living dangerously* (2014-2016), producido por Showtime y National Geographic (ganador del premio Emmy en 2014). (Consultado el 30 de octubre, en la página web de Wolfgang Held en: http://www.wolfgangheld.com/?page_id=163).

cuando presencian la discusión entre Gianotti y una colega (secuencia 18), o la plática entre Dimopoulos y Barbieri (secuencia 21). Held vivió dos experiencias de trabajo en circunstancias adversas, primero en el documental *Children Underground* (2001), que relata la situación de niños sin familia que viven en una estación del metro de Bucarest (Rumania). La segunda experiencia ocurrió al fotografiar situaciones íntimas y discusiones en el documental *Metallica: some kind of monster* (2004), pues esta producción retrata los conflictos personales y profesionales por los que atraviesan los integrantes de este grupo musical. Held ha dado cuenta de la dificultad que le implicó fotografiar en las condiciones adversas que se presentaron en ambas producciones; el aprendizaje que surgió de esto, se nota en la pericia que se refleja en *Particle Fever*. Por otro lado, Raschke también demuestra su habilidad con la cámara, a partir de su experiencia en documentales como *Mad hot ballroom* (2005), donde retrata a diversos niños de escuelas primarias en Nueva York, sus familias y sus relaciones escolares.

Aunado a la fotografía, la música es otro de los elementos destacados en *Particle Fever*, la mayor parte de las piezas son inéditas creadas por el prestigiado compositor Robert Miller⁸⁷ quien tiene una amplia experiencia en la creación de música para filmes y comerciales. Se involucró en la musicalización de *Particle Fever* porque Levinson y él habían trabajado con los mismos cineastas en el pasado. Levinson conocía el trabajo de Miller y, junto con Murch, comenzó a insertar piezas musicales de Miller cuando comenzó el proceso de montaje. Cuando Miller escuchó sus piezas insertadas en el documental le pareció que ajustaban de manera natural, prosiguió con el trabajo de musicalización hasta “encontrar el ‘sonido’ del film, y cuando logró esto ayudó al equipo de filmación a dar vida al relato” (Djordjevic, 2018)⁸⁸. Miller no es ajeno a los temas de ciencia, pues ha sido colaborador constante del planetario Hayden, del Museo Americano de Historia Natural de Nueva York, donde ha presentado al menos cuatro espectáculos (desde 2008 a la fecha), uno de ellos la partitura orquestal para el espectáculo *Dark Matter*, narrado por el astrofísico Neil deGasse Tyson (RMI Music, 2018).

La amplia trayectoria de Miller, y su habilidad para generar ambientes musicales que remitan a temáticas científicas son notorias, pues sus composiciones musicales resaltan las imágenes y

⁸⁷ Miller es estadounidense y estudió en el Mannes College of Music, de Nueva York; entre los maestros que lo instruyeron se encuentran William Schuman, Aaron Copland y Edgar David Grana (RMI Music, 2018). Comenzó su carrera musical como baterista y tecladista de *The Metromen* (agrupación de punk y power pop); también trabajó con *The Police* y Elvis Costello. Ha colaborado con el bajista Will Lee, el guitarrista David Spinnozza, y el compositor y cantante Marshal Crenshaw (IMBD, 2018). Miller es considerado uno de los compositores más prolíficos de la industria televisiva, publicitaria y cinematográfica, ha musicalizado alrededor de 2,400 comerciales y más de 40 filmes. Sus décadas de trabajo le han valido siete premios Clio (otorgados a lo mejor de la publicidad internacional en televisión, radio, internet y otros medios), dos AICP (premios que otorga la Asociación de Productores de Comerciales Independientes en Estados Unidos) y dos nominaciones al Emmy. Entre los documentales que ha musicalizado destacan *Why we fight* (2005) dirigida por Eugene Jarecki, (documental ganador del premio de jurado en el Festival de Sundance de 2005), *Red Doors* (2005) de Gerogia Lee (ganador del premio a mejor narrativa newyorkina en el Festival de Tribeca), y *The Caller* (2008), de Richard Ledes. Asimismo Miller fue el compositor residente de la Sinfonía Júpiter de Nueva York entre 1996 y 1999, donde estrenó seis piezas de concierto nuevas (Revisado el 4 de noviembre de 2018 en la página web de RMI Music, en: <http://www.rmimusic.com/about/>)

⁸⁸ Consultado el 5 de noviembre de 2018 en: <https://theaudiospotlight.com/the-music-of-particle-fever-an-interview-with-robert-miller/>

momentos mostrados en *Particle Fever*. Desde los créditos iniciales las notas musicales creadas por Miller transmiten la idea de aventura, misterio, vivacidad que van *en crescendo* para generar expectativa. En los primeros minutos, cuando aparece por primera vez el experimento ATLAS, los acordes remiten a sonidos tecnológicos y de maquinaria (que quizá fueron compuestos a partir de sonidos reales provenientes de los aparatos presentes en el ATLAS), estos poco a poco se mezclan con el sonido ambiente de taladros, martilleo y otros que tienen lugar mientras un grupo de técnicos termina de armar el gran aparato. Otro momento memorable es el acompañamiento musical del plano secuencia en que Dunford cuenta la primera vez que conoció el ATLAS (secuencia 8), las notas musicales transmiten la idea de que algo grande está por ocurrir, de pronto hay una explosión sonora que aporta esplendor, magnificencia y acompasa la imagen a cuadro. Cada una de las composiciones posee la misma coloración musical, al tiempo que presentan ligeras diferencias y se adaptan al tono dramático; es posible distinguir el estilo característico de Miller en el documental, pero al mismo tiempo procura que cada secuencia sea independiente y se adecue a la emotividad de lo mostrado.

Finalmente, dirección, producción, fotografía y musicalización son elementos que se conjugan en el proceso de montaje y edición. Esta labor estuvo a cargo del laureado veterano Walter Murch⁸⁹, quien ha brindado numerosas entrevistas que dan cuenta de su forma de pensar y ejecutar su labor de editor. Una de sus premisas es que el espectador es su prioridad, y este no recuerda el montaje, ni el trabajo de cámara, ni el argumento de un filme, sino cómo se sintió cuando miró la película. Con base en lo anterior, Murch apelar a los sentimientos del público y asegura que una cinta bien editada refleja una dirección bien hecha, pero un filme genialmente editado parece que ni siquiera tuvo que ser dirigido porque posee la fluidez del pensamiento. Es decir, considera que la edición debe pasar desapercibida y así propiciar la participación del espectador (Zoom F7, 2018).

Gracias a los testimonios que dan cuenta de su minuciosa labor de montaje, esta se puede describir, a grandes rasgos, en tres etapas. La primera consiste en la selección de las piezas que

⁸⁹ Murch nació en 1943 en Nueva York, Estados Unidos. Estudió artes liberales en la Universidad Johns Hopkins entre 1961 y 1965. Durante sus estudios conoció a Matthew Robbins (quien más tarde se convertiría en director de cine), y a Caleb Deschanel (director de fotografía); juntos colaboraron en proyectos escolares. En 1965 Murch inició sus estudios de posgrado en la escuela de cine de la Universidad del Sur de California, ahí compartió clases con George Lucas, John Milius, y otros destacados directores. Comenzó su trabajo en edición de mezcla de sonido al lado de Francis Ford Coppola con *The rain people* (1969), luego con George Lucas en *THX 1138* (1971) y *American Graffiti* (1973). Esa misma década continuó su trabajo con Coppola en *The Godfather II* (1974); *The Conversation* (1974) y *Apocalypse Now* (1979), por el cual ganó su primer premio de la Academia. En los años ochenta dirigió su única cinta: *Return to Oz* (1985), producida por Disney. Posteriormente trabajó con Anthony Minghella en *The english patient* (1996), esto le valió dos premios Oscar por mejor sonido y mejor edición, y así se convirtió en la primera película editada digitalmente en ganar un premio de la Academia. Su excepcional trabajo en *The conversation* (1974), *Julia* (1977), *Ghost* (1990) y *Cold Mountain* (2003) le han otorgado diversas nominaciones a los Oscar. Murch escribió un libro sobre edición cinematográfica: *In the blink of an eye* (2001). Y fue objeto de análisis del libro de Michael Ondaatje *The conversations* (2002), en el que Murch describe a Ondaatje su meticuloso trabajo de edición en *The english patient*. En 2007 se estrenó el documental *Murch*, que abunda sobre su vida y su importante contribución cinematográfica (Consultado el 6 de noviembre de 2018, en https://en.wikipedia.org/wiki/Walter_Murch).

va a utilizar. La segunda trata del montaje de las piezas seleccionadas, teniendo siempre en mente que la elección sea estrictamente necesaria para la estructura narrativa. En la tercera se pone a prueba el potencial emocional de las secuencias entrelazadas. Para lograr lo anterior, Murch ordena su cuarto de edición de una manera particular, pues considera que la disposición de los elementos influye en su desempeño y, por supuesto, en el film. Procura que su cuarto de edición sea funcional: frente a él se ubican los monitores (a los que sobrepone figuras humanas a escala, que le permiten saber la proporción entre el espectador y la pantalla de cine). Al lado de los monitores coloca fotogramas importantes que le ayudan a recordar el principio emocional que rige la escena a la que pertenecen, y que responden a la pregunta ¿qué buscaba el director al filmar esta escena? Por otro lado, también tiene apuntes con la primera impresión que tuvo al mirar los planos por primera vez. Aunado a lo anterior, tiene notas adheribles (en diferentes formas y colores) con información de personajes, secuencias, opiniones y el significado detrás de cada escena. En medio de este “caos controlado” (como él mismo lo llama) realiza el montaje y la edición de pie, con el teclado sobre una mesa de arquitecto, pues considera que esto le permite fluir con los planos y “sentir el ritmo del filme de manera genuina”. Y es que al principio de su carrera Murch trabajó con la tradicional moviola, a un ritmo determinado que implicaba un arduo esfuerzo físico, pues había que cortar, manipular y pegar el celuloide, así que mantenerse de pie era la posición más eficiente para trabajar, esa postura a la que estaba acostumbrado le ayuda a trabajar actualmente (Zoom F7, 2018).

Otra de las peculiares formas del trabajo de Murch consiste en evitar asistir a la filmación. Esto le ayuda a no tener ataduras sentimentales por algunas escenas, y mantener la cabeza fría para desechar aquellas que no aportan al relato. Una de las características del estilo de Murch consiste en “sugerir en vez de mostrar”, así propicia la participación del público con los elementos mínimos. Otra de las características de su trabajo es la famosa regla de los seis, que consiste en prioridades que un editor debe tener para llevar a cabo un simple corte. El criterio más importante es la emoción (sin la cual no hay conexión con el espectador). Después, la importancia de la historia (un buen corte debe hacer progresar la narrativa, si un plano no contribuye es mejor desecharlo). En tercer lugar debe haber ritmo para contribuir a conectar con el público. Las reglas anteriores son interdependientes y, si funcionan de manera adecuada, ayudarán a que el espectador se sumerja en el filme. La cuarta regla tiene que ver con la línea de mirada (cada corte debe ser coherente con la composición y la línea de mirada). La quinta se refiere a la gramática cinematográfica, tiene que ver con respetar los ejes dentro del plano (acción, mirada, cámara, etc.). La sexta apela a situar tridimensionalmente al espectador (los planos son generalmente bidimensionales, la tridimensionalidad se añade con el montaje). Murch considera que el corte perfecto resulta de la conjunción de las seis reglas anteriores (Zoom F7, 2018).

- *Descripción del contexto en que se produjo y exhibió Particle Fever:*

Particle Fever es una producción de Estados Unidos (2013). El documental fue dirigido por Mark A. Levinson, producido por él mismo en conjunto con David E. Kaplan, Thomas

Campbell, Jackson y Gerry Ohrstrom, Andrea Miller y Carla Solomon. Las productoras involucradas en este filme son The Bertha Foundation, Roco Films, Anthos Media, LLC, y PF Productions, LLC. La distribución estuvo a cargo de Abramorama y BOND 360. La fotografía fue realizada por Claudia Raschke-Robinson y Wolfgang Held. La música estuvo a cargo de Robert Miller. El montaje es de Walter Murch. Y el trabajo de animación y los gráficos fueron realizados por MK12⁹⁰.

Como ya se comentó en la primera parte de este nivel narrativo histórico-cultural, en 2006 Levinson pretendía filmar un documental que mostrara a la ciencia real de una manera atractiva. Escribió un guión que presentó a un grupo de inversores de Silicon Valley, quienes lo pusieron en contacto con Kaplan (quien deseaba filmar el experimento en el gran acelerador de hadrones del CERN). Levinson y Kaplan acordaron producir “un drama con buenos personajes”, más que un documental de ciencia dedicado a explicar la física de partículas (McCabe, 2014). Comenzaron a filmar en 2007, primero entrevistaron a los siete investigadores protagonistas, pero en algún momento los acontecimientos en el CERN comenzaron a ocurrir de manera rápida y, sobre todo, paralelamente. Por fortuna el personal de la oficina de medios del CERN les ayudó a filmar algunas escenas.

El rodaje concluyó a principios de 2012, con alrededor de 500 horas de material (100 de ellas de los investigadores protagonistas que se filmaron a sí mismos, y 100 más de las grabaciones de la oficina de medios del CERN). Levinson y un primer editor (que no era Walter Murch) comenzaron a ordenar el material para estructurar una historia, pero tenían varios argumentos posibles. Levinson llamó a Walter Murch y le pidió consejo, le mostró un primer corte de dos horas y media, Murch se mostró entusiasmado y aportó algunas ideas para mejorar el material, Levinson le ofreció el cargo de editor y Murch aceptó (McCabe, 2014).

En marzo de 2012 Levinson y Murch continuaban editando, pero aún no sabían cómo cerrar la narración. El 4 de julio de ese año se anunció la detección de la Higgs, filmaron el evento y regresaron al cuarto de edición con bastante material perfecto para un final dramático; pero esto implicó re-editar el principio para tener una historia redonda. Levinson se empeñó en que el documental debía durar 100 minutos, así que trabajaron arduamente hasta conseguirlo. Una vez que terminaron, hicieron al menos 12 pruebas piloto con público de prueba, poco a poco ajustaron detalles hasta que el público quedó “cautivado” con la historia. En el camino tuvieron que excluir escenas que a Levinson le parecían entrañables, pero sabía que no podía haber muchos climas, de lo contrario el interés del público decaería (McCabe, 2014). Aunque Levinson pretendía hacer una película accesible a todo el público, en el fondo pensaba que llamaría la atención de audiencias especializadas; no imaginó que el drama por la búsqueda de

⁹⁰ Colectivo fundado en el año 2000 y cuyo trabajo ha estado presente en filmes como *Stranger than fiction* (2006), *The kite runner* (2007) y *Quantum of solace* (2008). Información consultada en <http://particlefever.com/downloads/ParticleFeverPressNotes.pdf> el 30 de marzo de 2018.

la Higgs sería el principal atractivo del documental (Sanders, 2014). Levinson ha declarado que este documental habla de ciencia, pero sobre todo de los científicos (McCabe, 2014).

En entrevista con *The Guardian*, Levinson aseguró que no concibe *Particle Fever* como un documental de ciencia, pues considera que la trama es acerca de la búsqueda del hombre por la comprensión. Afirma que quería hacer una película que resultara atractiva para un público que ni siquiera supiera que le interesaba la ciencia, pero que pudiera identificarse con lo maravilloso de este gran esfuerzo humano⁹¹. Sin embargo, de acuerdo al tema abordado, y la manera de exhibirlo, se puede pensar que el *target*⁹², o público meta, del documental comprende principalmente adultos con nivel cultural medio o alto, pues la comprensión de los conceptos abordados requiere cierto grado de conocimiento, o interés de manera que no se puede afirmar que se trate de un público general con un nivel cultural bajo, para niños o adolescentes.

El documental tuvo un costo de 1.4 millones de dólares, se exhibió por primera vez el 14 de julio de 2013 en el Festival de documentales Sheffield, en el Reino Unido. Su estreno comercial fue el 5 de marzo de 2014 en Estados Unidos, y recaudó \$869,838 dólares. En España se estrenó el 11 de septiembre de 2014. En México no tuvo un estreno comercial propiamente, se exhibió en algunas salas de cines que muestran películas no comerciales. Por la duración del documental es posible afirmar que la intención de Levinson y Kaplan era exhibirlo en cine y no en televisión pues los documentales de televisión por lo general tienen una duración aproximada de 50 minutos. A partir del estreno, Levinson y Kaplan presentaron el documental en diversos festivales, donde ganaron diversos premios que a continuación se enumeran:

- En *Sheffield International Documentary Festival* de 2013, ganaron el Premio de la Audiencia⁹³.
- En *360° Contemporary Science Film Festival de Moscow* de 2013, obtuvieron el Premio Gran Jurado y Premio Lluvia de Ideas⁹⁴.
- En *Jackson Hole Science Media Awards* de 2014 ganaron el Premio a Mejor Película de Ciencias Naturales, y el Premio a Mejor Edición⁹⁵.
- En *Pariscience, Festival International du Film Scientifique* de 2014 obtuvieron el Premio Gran Pantalla⁹⁶.
- En *The British Documentary Awards* del Grierson Trust de 2014, ganaron por Mejor Documental de Ciencia o Historia Natural⁹⁷.

⁹¹ Consultado en: <https://www.theguardian.com/science/2014/apr/13/particle-fever-film-higgs-boson-director-mark-levinson>, el 9 de junio de 2018.

⁹² De acuerdo a los criterios planteados por León para integrar una ficha de análisis de documentales científicos (León *et al.*, 2010, p. 19)

⁹³ Consultado el 21 de abril de 2019 en: <https://sheffdocfest.com/articles/100-sheffield-doc-fest-award-winners>

⁹⁴ Consultado el 21 de abril de 2019 en: <http://particlefever.com>

⁹⁵ *Ídem* en: <https://www.sciencemediasummit.org/2014-media-competition.html>

⁹⁶ *Ídem* en: <http://particlefever.com>

⁹⁷ *Ídem* en: <https://griersontrust.org/about-us/news/2014/winner-2014.html>

- En *DocsBarcelona + Medellín International Documentary Film Festival* de 2014, obtuvieron el Premio de la Audiencia⁹⁸.
- En 2015 ganaron el premio *Alfred I. duPont-Columbia*⁹⁹.
- En *Ahvaz International Science Film Festival* de 2015, obtuvieron el Premio Al-Farabi por Mejor Investigación y Guión¹⁰⁰.
- En *The National Academies of Science, Engineering and Medicine Communication Award* de 2015¹⁰¹.
- En 2016 la *Stephen Hawking Medal for Science Communication in Film*¹⁰².

Aunque esta lista enumera los premios obtenidos entre 2013 y 2016, el documental fue inscrito para competir en aproximadamente 30 festivales de cine en diferentes países (como Estados Unidos, Inglaterra, España, Italia, Canadá, Noruega, Australia, Emiratos Árabes Unidos, Nueva Zelanda, Israel y París)¹⁰³. Como se puede constatar, la mayoría de los premios se obtuvieron en festivales de cine científico, lo que contrasta con las declaraciones realizadas por Levinson, respecto a que no pretendía hacer un documental de ciencia.

El documental contiene elementos de divulgación científica, sobre todo si se retoma a León (2002), quien considera que los documentales de divulgación de ciencia consiste en obras audiovisuales que “tratan asuntos centrados en resultados de investigación, hechos o conocimientos relacionados directamente con alguna disciplina de la ciencia”, o bien que “muestran explícitamente (en la imagen, la narración o los títulos de crédito) que han contado con la colaboración o el aval de expertos o instituciones científicas, que han participado como fuentes de información o asesores de contenido (*ídem*). La acotación que hace Levinson, sobre pretender producir un drama con personajes interesantes, Salcedo (2010) recuerda que los documentales de divulgación de ciencia poseen “estructuras narrativas y herramientas visuales destinadas a la comprensión, interés, concienciación, formación de criterio y entretenimiento del público (*ídem*). Es decir, *Particle Fever* cumple con las características propias de un documental de divulgación de ciencia aunque no fue planeado como tal.

- *Análisis de las características importantes del trabajo científico en Particle Fever*

Este análisis se basa en la lista de ocho características importantes de la labor científica que identifiqué en mi tesis de maestría: a) provisionalidad del conocimiento científico; b) diversidad de métodos; c) observación, inducción, deducción y creatividad; d) diferencia entre hipótesis, leyes y teorías; e) modelos científicos; f) contexto social y subjetividad; g) trabajo en equipo; y h) diferencia entre ciencia y tecnología (Martínez-Rodríguez, 2016). En las siguientes páginas se describen las referencias que hay de cada uno a lo largo del documental:

⁹⁸ *Ídem* en: <http://particlefever.com>

⁹⁹ *Ídem* en: <https://journalism.columbia.edu/dupont>

¹⁰⁰ *Ídem* en: <http://particlefever.com>

¹⁰¹ *Ídem* en: <http://www8.nationalacademies.org/onpinews/newsitem.aspx?RecordID=09092015A>

¹⁰² *Ídem* en: <https://www.starmus.com/stephen-hawking-medal-for-science-communication/>

¹⁰³ *Ídem* en: <http://particlefever.com>

a) *Provisionalidad del conocimiento científico*

Hay al menos nueve momentos en que los investigadores refieren aspectos relacionados con el carácter provisional del conocimiento científico. A lo largo de sus diversas intervenciones Kaplan, Arkani-Hamed y Dunford, principalmente, emiten declaraciones que hacen pensar que su trabajo (tanto las ideas que plantean los físicos teóricos, como los experimentos que realizan los experimentales) implica un proceso largo y discontinuo. Los datos, las conclusiones y el conocimiento resultante nunca está terminado, no es absoluto, tiene un carácter provisional debido a que siempre está sujeto a revisión, ya que en cualquier momento se puede presentar nueva información.

Por ejemplo, en la secuencia 2 (03'15") Kaplan menciona que el LHC será puesto en marcha y, después de años de esperar, la teorización sobre cómo se creó la materia finalmente será puesta a prueba y "todo cambiará"; sentencia: "si el LHC ve nuevas partículas estamos en el camino correcto, de lo contrario no sólo habremos fallado, sino que quizá no sepamos cómo proceder. Estamos en una bifurcación, y será una era dorada o austera. Jamás había escuchado de un momento así, donde un campo completo depende de un solo evento". Kaplan advierte que este experimento podría modificar los planteamientos teóricos que hasta ahora existen en la física de partículas. Incluso menciona que si no "encuentran" nuevas partículas, los físicos teóricos "fallarían" y no sabrían qué hacer. Asegura que nunca antes todo un campo del conocimiento había estado en vilo por un solo experimento¹⁰⁴. Lo anterior revela que el conocimiento que hasta ahora existe en física teórica es provisional, pues podría modificarse de acuerdo a los resultados del experimento.

Relacionado con lo anterior, Duhem (2003) destacó la importancia de la interpretación en los experimentos, estableció que no basta con realizar una observación cuidadosa. Los físicos llevan a cabo experimentos a partir de concepciones previas, su interpretación está permeada por planteamientos teóricos determinados, que incluso pueden variar entre físicos de diferentes generaciones, o físicos de áreas divergentes. Para este teórico "un experimento de física no es simplemente la observación de un fenómeno, sino que es, además, la

¹⁰⁴ Tanto Pierre Duhem, como Carl Hempel e Imre Lakatos mencionaron la imposibilidad de experimentos cruciales para decidir entre hipótesis o teorías en competencia. Por un lado Duhem consideraba que un experimento en física no consiste únicamente en "la contrastación de un conjunto de hechos, sino también la traducción de esos hechos a un lenguaje simbólico, por medio de reglas tomadas de las teorías físicas". Enfatiza que la experimentación científica no tiene un grado más elevado de certeza que la observación vulgar, y añade: "si el experimento de física fuera la simple contrastación de un hecho, sería absurdo introducir en él correcciones" (Duhem, 2003, p. 205, 206, 214). En este sentido, un solo experimento basta para revelar datos a partir de los cuales los científicos destaquen una teoría sobre otra. Por otro lado, Hempel también consideró que los experimentos cruciales son imposibles, entre dos teorías rivales un experimento (si a caso) puede mostrar que una de ellas es inadecuada, lo que brinda mayor apoyo a la otra, pero no más: "las hipótesis y las teorías científicas no pueden ser probadas de un modo concluyente por ningún conjunto de datos disponibles, por muy precisos y amplios que sean (...) ni siquiera la más cuidadosa y amplia contrastación puede nunca refutar una de entre dos hipótesis y probar la otra" (Hempel, 1998, p. 50). Finalmente, para Lakatos "una teoría triunfa sobre otra sólo después de un prolongado periodo de progresión opuesta a degeneración; un experimento crucial señala el principio del fin, pero sólo puede verse así mucho tiempo después" (Lakatos en Hacking, 2018, p. 250 y 252).

interpretación teórica de ese fenómeno” (Duhem, 2003, p. 189). Los experimentos consisten en dos momentos, primero la observación atenta y cuidados de ciertos hechos, y luego la interpretación de los hechos observados, para lo cual es necesario conocer las teorías aceptadas en la física y además saber aplicarlas (*ídem*). “*Un experimento físico es la observación precisa de un grupo de fenómenos acompañada de la INTERPRETACIÓN de esos fenómenos. Esta interpretación sustituye los datos concretos obtenidos realmente de la observación por representaciones abstractas y simbólicas que les corresponden en virtud de las teorías admitidas por el observador*”¹⁰⁵ (Duhem, 2003, p. 193).

En la secuencia 24, Gianotti presenta los resultados del experimento ATLAS, aparecen gráficas y datos incomprensibles para cualquier persona que no sea un físico especializado; en el minuto 85’50” Gianotti afirma “Esta distribución es extremadamente limpia, excepto por un gran pico aquí (aparece a cuadro un plano detalle de la gráfica presentada), con un exceso de significación de 5.0 sigmas, y una masa de 126.5 GeV”. El público en el auditorio del CERN aplaude y vitorea, lo mismo ocurre en el auditorio de Princeton donde están Arkani-Hamed y Kaplan. De regreso al CERN la cámara muestra a Peter Higgs aplaudiendo conmovido y secando sus lágrimas. Rolf-Dieter Heuer (entonces director general) asevera “creo que lo tenemos” refiriéndose a la partícula bosón de Higgs. El conjunto de datos que aporta Gianotti no son el resultado de una observación neutral, ni la exposición inmaculada de un determinado fenómeno a partir de un experimento, constituye un conjunto de abstracciones enunciadas a partir de las teorías que aprendieron como físicos y que son incomprensibles e indescifrables para todos los que no conocemos esas teorías. Al respecto Duhem asevera “el resultado de las operaciones a las que se dedica un físico experimental no es de ningún modo la constatación de un grupo de hechos concretos, sino el enunciado de un juicio que relaciona entre sí ciertas nociones abstractas y simbólicas, cuya correspondencia con los hechos realmente observados la establecen solamente las teorías” (*ídem*, p. 194).

“Encontrar” la partícula bosón Higgs no significó que los investigadores hubieran penetrado el núcleo del átomo y, mediante un muy sofisticado microscopio hayan visto en su interior hasta encontrar esa partícula (como si se tratara de un grano de arena en el fondo del mar). “Encontrar” la partícula bosón de Higgs remite a una labor compleja cuyos antecedentes se remontan a la propuesta realizada por Peter Higgs en los años sesenta, que aventuró la existencia de una partícula elemental para el modelo estándar de la física vigente.

Cuando un físico realiza un experimento, tiene simultáneamente en su mente dos imágenes bien distintas del instrumento con el que opera: una es la imagen del instrumento concreto que manipula en realidad; la otra es un modelo esquemático del mismo instrumento, construido por medio de símbolos proporcionados por las teorías. Y cuando razona, lo hace a través de este instrumento ideal y simbólico, y a él aplica las leyes y las fórmulas de la física. (*ídem*, pp. 204 y 205).

¹⁰⁵ Cursivas y mayúsculas del autor.

Lo que ocurrió en el CERN entre 2008 y 2012, a partir de la colisión de haces de protón, y de los diversos experimentos asociados (ALICE, CMS, LHCb y ATLAS), fue la identificación de una partícula cuyas propiedades eran muy parecidas a las descritas por Higgs. El dato final que aporta Gianotti en la secuencia 24, corresponde a la masa de tal partícula (126.5 gigaelectron voltios, con un exceso de significación de más menos 5 sigmas). Este dato es interpretable, y comprensible, únicamente por los investigadores que pertenecen a ese gremio especializado en física de partículas. Los asistentes al auditorio aplauden y se alegran porque comprenden el significado del dato. El resultado del experimento consiste en una abstracción cuya interpretación es exclusiva de este grupo de investigadores “(...) entre los fenómenos realmente constatados en el transcurso de un experimento y el resultado de este experimento, formulado por el físico, se intercala una elaboración intelectual muy compleja, que sustituye una relación de hechos concretos por un juicio abstracto y simbólico” (Duhem, 2003, p. 201).

De acuerdo con Duhem, un experimento de física no se contenta con dar cuenta de un fenómeno de manera somera, sino que lo analiza a profundidad, informa el mínimo detalle y la más pequeña peculiaridad. Esta información pretende reproducir, con toda exactitud, el fenómeno que describe (teórico o empírico) por medio de un lenguaje simbólico, que le permite expresarse de manera concisa y clara (por lo menos para el mismo gremio), que consiste en la teoría matemática. El experimento ahonda en el análisis de los fenómenos gracias a la interpretación teórica (*idem*). Un experimento de física no implica la simple constatación de un conjunto de hechos, sino la traducción de esos hechos a un lenguaje simbólico que retoma reglas derivadas de teorías físicas. “Lo que el físico enuncia como resultado de un experimento no es el relato de unos hechos constatados, sino la interpretación de estos hechos, su transposición al mundo ideal, abstracto, simbólico, creado por las teorías que considera establecidas” (*idem*, p. 209).

Por otro lado, en la secuencia 4 (10’50”) Arkani-Hamed asegura que desde mediados de los años 60 existe una “muy exitosa teoría de la naturaleza” denominada modelo estándar de la física de partículas. Sin embargo, advierte que este modelo tiene problemas conceptuales, y para que lo planteado por esta teoría tenga sentido debe “aparecer” la partícula Higgs (o “algo parecido”), de lo contrario los planteamientos actuales son “muy muy incorrectos”¹⁰⁶. Incluso asegura que muchas preguntas importantes han estado abiertas por varios años, y

¹⁰⁶ El razonamiento empleado por Arkani-Hamed en esta ejemplo se denomina hipotético-deductivo, consiste en que la argumentación es deductivamente válida si la conclusión está relacionada de tal modo con las premisas que si las premisas son verdaderas entonces la conclusión no puede dejar de serlo. Por ejemplo, se tienen las siguientes premisas (P1 y P2) y la conclusión correspondiente (C). P1: Toda sal de sodio expuesta a la llama de un mechero Bunsen la tornará de color amarillo; P2: Este trozo de minera es una sal de sodio. C: por lo tanto, este trozo de mineral, cuando se exponga a la llama de un mechero Bunsen, la tornará de color amarillo. Las argumentaciones deductivas van de lo general (las premisas que refieren a todas las sales de sodio) a lo particular (la conclusión que alude al trozo concreto de sal de sodio). En contraste con la inferencia inductiva (en la cual las premisas implican la conclusión con un grado más o menos alto de probabilidad), en una inferencia deductiva las premisas implican la conclusión con certeza (Hempel, 1998, p. 26 y 27).

podrían responderse con el LHC. Esta intervención revela, una vez más, que las teorías planteadas por los físicos teóricos no son permanentes, tienen un carácter provisional. Los datos obtenidos a partir del experimento serían evidencia que apoyaría, o justificaría mejor, una teoría como el modelo estándar, o hipótesis como la supersimetría y el multiverso. Aunque a lo largo del documental Dimopoulos constantemente emplea la frase “conocer la verdad”, esto no es posible. A partir de un experimento pueden obtenerse datos que sirven como evidencia que valide, apoye o justifique una ley o una teoría, pero no las puede probar, ya que en un futuro podría aparecer nueva evidencia y, por lo tanto, no hay forma de demostrar que son verdaderas de una vez y para siempre. En la secuencia 7 (17’28”), Kaplan hace un recuento histórico del estudio de partículas, menciona el modelo estándar y la partícula propuesta por Peter Higgs y otros teóricos en los años 60; asegura que el experimento del LHC se llevará a cabo para “probar” la existencia de tal partícula.

En la secuencia 16 (51’08”) Arkani-Hamed habla de la constante cosmológica, en su explicación revela aspectos de la provisionalidad del conocimiento, pues sentencia “hace 10 años los astrónomos descubrieron un hecho interesante: que el universo se vuelve más y más grande de una manera cada vez más rápida, esta velocidad es miles de millones de veces más lenta de lo que predijimos. Cuando te equivocas por miles de millones, entonces hay algo mal con tu entendimiento de la física básica. Lo que es peor, este número, la constante cosmológica, debe tener un valor extremadamente preciso, y si el valor es diferente aunque sea por un poquito, cambiaría completamente la apariencia del mundo que nos rodea. Si hubiera una situación en la que el parámetro tiene un valor muy riesgoso y se modifica un poco, el mundo cambiaría radicalmente y estaríamos muertos. No podríamos vivir (...) si observamos esta situación podríamos pensar que alguien puso a propósito este parámetro como valor correcto para poder estar aquí, en un universo placentero (...) te hace preguntarte si comprendimos mal todo”. Esta reflexión revela que Arkani-Hamed ha modificado los planteamientos teóricos existentes a partir de cuestionarlos, de nuevo es un ejemplo de la provisionalidad del conocimiento. La contraparte de Arkani-Hamed, serían Dimopoulos y Barbieri, pues en la secuencia 21 (72’50”), expresan que durante 30 y 40 décadas, respectivamente, han trabajado en teorías que no saben si serán sustentadas por el experimento, revelan que podrían haber dedicado la mitad de su vida a algo que no es “verdadero”.

Hacia el final del documental, a lo largo de la secuencia 25 hay tres ejemplos de provisionalidad del conocimiento. Primero, en el minuto 90’30”, Dimopoulos habla sobre los resultados de la masa de la Higgs: “(...) es como si estuviera en tierra de nadie, no prefiere las simetrías y tampoco prefiere el multiverso, sino que está en medio. Los datos son tan confusos que no excluyeron ninguna de las teorías que utilicé, pero tampoco las confirmó. Hasta que veamos las propiedades detalladas del Higgs, y hasta que tengamos la versión de alta energía del LHC en unos años, no podremos hacer una afirmación más clara”. Esta declaración evidencia que el dato de la masa de la Higgs arrojado por el experimento no

era lo que esperaban, pues no favorece la supersimetría ni el multiverso. Hacia el final admite que aún no es posible saber más hasta que el LHC sea mejorado; es decir, los datos obtenidos servirán para justificar, o no, algunas teorías, pero no serían determinantes ni arrojarían un resultado concluyente.

Más adelante, en el minuto 91'10" de la misma secuencia 25, Arkani-Hamed sentencia "por un lado la Higgs completa la teoría científica más exitosa que hemos conocido, por otro lado abre la puerta a paradojas importantes que debemos analizar. Estamos ante una bifurcación en el camino y el LHC se rehúsa a conducirnos en alguna dirección específica. Por un lado el multiverso, y una hermosa simetría del otro lado. Le está poniendo tanto suspenso como puede". Aunado a lo anterior, un poco más adelante (91'54"), Dunford asegura que "la nueva física sigue ahí afuera", y que el siguiente paso es que el LHC se apague para ser mejorado y actualizado. En ambas declaraciones se implica que los datos obtenidos no son determinantes, que es necesario continuar ajustando el experimento y que esto tomará tiempo.

Por último, y de nuevo en la secuencia 25, Kaplan (92'38") asegura que la masa de 125 GeV de la Higgs descarta los modelos de supersimetría que ha desarrollado, esta situación no parece incomodarle y advierte: "sin otras nuevas partículas ese Higgs es inestable, es temporal. Y en tanto que el Higgs mantiene todo unido, si el Higgs se va, todo se va. Es increíble que el Higgs, el centro del modelo estándar, aquello que todos hemos estado buscando, pueda ser lo que destruya todo. El creador y destructor. Pero podríamos descubrir partículas nuevas y nada de lo anterior sería verdad, así que tenemos algo que hacer". Es decir, Kaplan es consciente de que los datos obtenidos a partir del experimento son temporales, esto conduce su investigación, y propuestas teóricas, en una dirección diferente a lo realizado con anterioridad.

Como se alcanza a apreciar someramente en este documental, es importante señalar que parte del carácter provisional del conocimiento implica un largo proceso de aceptación del conocimiento nuevo, pues esta no ocurre inmediatamente, hay negociación, debates, encuentros, desencuentros y finalmente consenso al interior de la comunidad científica.

b) Diversidad de métodos

No hay un método único o universal en la labor científica, la forma en que los científicos desarrollan su trabajo, para generar conocimiento, no puede resumirse en una serie de pasos porque es muy diferente para cada área, lo que es más: en una misma área existen diversos procedimientos que dependen de la forma particular de trabajo en cada grupo de investigación (Feyerabend, 1981 y 2018; Pérez-Tamayo, 2003 y 2010). Relacionado con esto, también está la idea de que la ciencia, por medio de su "método", es capaz de resolver cualquier problema o pregunta; sin embargo, hay numerosos temas fuera de su ámbito, como

las cuestiones morales, éticas o estéticas que no pueden abordarse exclusivamente desde la ciencia.

En general el documental presenta la dicotomía entre físicos teóricos y físicos experimentales, esta diferenciación incluye el método de trabajo. Hay cuatro momentos que ejemplifican que los físicos emplean métodos variados para investigar un fenómeno y desarrollar una teoría o un experimento. Primero, en la secuencia 4 (07'25") Kaplan menciona que los físicos experimentales "construyen máquinas enormes para realizar experimentos, analizan los datos e intentan descubrir cosas como partículas nuevas". Por otro lado, los físicos teóricos "(...) construimos las teorías que intentan explicar todo lo que vemos en la naturaleza. Sin nosotros, los experimentalistas están a oscuras, pero sin ellos nunca sabremos la verdad¹⁰⁷". En esta declaración Kaplan implica que el método de trabajo de ambos grupos es diferente, incluso en imágenes Kaplan aparece escribiendo ecuaciones en el pizarrón, mientras que los físicos experimentales trabajan en computadoras, individualmente y en grupo, o bien trabajan con grandes aparatos tecnológicos. Asimismo, en la secuencia 5 (13'28") se reitera la diferencia entre físicos teóricos y experimentales cuando Dunford recuerda sus años universitarios, confiesa que la física le parecía aburrida hasta que conoció el lado experimental: "se trata de tomar la teoría, que es abstracta, y convertirla en realidad, ¿cómo construyes un experimento para descubrir algo que la teoría predice?, ese es el aspecto que me encanta".

En la secuencia 15 (49'49"), Dunford advierte a los espectadores: "tienen que regresar con los experimentalistas para mantenerse en contacto con la realidad". Implícita en esta frase está la idea de que los físicos teóricos se dedican a abstracciones y que Dunford considera que los experimentales sí están en contacto con la realidad. En ese mismo tono, en la secuencia 16 (54'44"), Arkani-Hamed explica más o menos en qué consiste la teoría del multiverso, en ella hay varias suposiciones de lo diferente que sería la comprensión del universo por parte de los físicos. A esto se refiere Dunford cuando advierte al público que regrese con los experimentalistas para "mantener contacto con la realidad".

Como se puede observar, en una misma área del conocimiento como la física, existen dos tipos de investigadores con diferentes herramientas y métodos para observar y plantear ideas. Por un lado, los físicos teóricos emplean la creatividad y su capacidad de abstracción para desarrollar teorías que, frecuentemente se expresan por medio de ecuaciones. Por otro lado, los físicos experimentales toman esas teorías, expresadas por medio de ecuaciones, y diseñan experimentos que puedan ayudar a obtener información que justifique lo planteado en las

¹⁰⁷ Una vez más, se reitera que la verdad no se puede conocer, pues para explicar algún fenómeno es necesario apelar a otro, pero este último no necesariamente tiene una explicación. Por ejemplo "en la ciencia newtoniana la ley de la gravitación universal era un principio fundamental: explicaba otros fenómenos, pero no se explicaba a sí misma (...) Por más que la ciencia del futuro esté en posibilidades de dar explicaciones, éstas tendrán que hacer uso de ciertas leyes y principios fundamentales. Como nada puede explicarlos en sí mismos, se entiende que por lo menos algunas de esas leyes y principios permanecerán sin explicación" (Okasha, 2007, p. 77).

teorías. Ambos emplean la creatividad y la abstracción, pero la expresan de manera diferente.

Pérez Tamayo (2003) resume en cuatro categorías las propuestas que ha habido acerca del método científico¹⁰⁸ a lo largo del tiempo: a) *método inductivo-deductivo*: parte de la idea de que la ciencia inicia con observaciones individuales a partir de las cuales se plantean generalizaciones que, a su vez, permiten plantear predicciones, si estas se confirman entonces quedan reforzadas, de lo contrario se debilitan y pueden modificarse o rechazarse; b) *método a priori-deductivo*: el conocimiento científico se adquiere por medio de principios generales (invariables y eternos) a partir de los cuales se deducen instancias particulares que pueden, o no, demostrarse objetivamente; c) *método hipotético-deductivo*: parte de elementos teóricos o hipótesis (conceptos no derivados de la experiencia) en la investigación, que anteceden y determinan las observaciones, posteriormente se contrastan con la naturaleza mediante observación o experimentación; d) *no hay método*: se subdivide en dos grupos, uno de ellos considera que el estudio histórico de casos científicos nunca ha revelado reglas o prácticas que sigan la mayoría de los investigadores, el otro grupo piensa que en el pasado tal vez hubo un método científico, pero que la variedad actual de disciplinas científicas impide una unificación, por lo tanto existen varios métodos científicos. De tal suerte que, al debatir sobre el método científico este autor aconseja considerar “(...) la complejidad y la heterogeneidad de la ciencia contemporánea, el fracaso del reduccionismo del siglo XIX, la naturaleza no cuantitativa (matemática) de muchos de los conceptos principales de las nuevas ciencias humanas, o el carácter revolucionario de las recientes ciencias humanísticas (...)” (Pérez-Tamayo, 2003, p. 265).

Finalmente, aseverar que la ciencia puede explicar todos los fenómenos, o resolver todas las incógnitas, es muy aventurado. Es preciso considerar que la ciencia no es la única que ha logrado alcances significativos mediante su proceder sistemático, otras ideologías o conocimientos también lo hacen, por último “no hay una ‘metodología científica’ que pueda emplearse para separar la ciencia de todo lo demás” (Feyerabend, 2018, p. 299, 300 y 305).

c) *Observación, inducción, deducción y creatividad*

De acuerdo con Carl Hempel (1998), aunque una investigación ideal estaría conformada por cuatro momentos (observación y registro de los hechos, análisis y clasificación de estos, derivación inductiva a partir de generalizaciones de ellos, y contrastación de esas generalizaciones) resulta impracticable porque “para poder reunir todos los hechos tendríamos que esperar, por decirlo así, hasta el fin del mundo; y tampoco podemos reunir todos los hechos dados hasta ahora, pues éstos son infinitos tanto en número como en

¹⁰⁸ El autor entiende por método científico “la suma de los principios teóricos, de las reglas de conducta y de las operaciones mentales y manuales que usaron en el pasado y hoy siguen usando los hombres de ciencia para general nuevos conocimientos científicos” (Pérez-Tamayo, 2003, p. 253).

variedad”. La primera fase se refiere a reunir los hechos lógicamente relevantes, teniendo como referencia una hipótesis dada y no un problema: “Un dato que hayamos encontrado es relevante con respecto a H si el que se dé o no se dé se puede inferir de H”. Las hipótesis, en tanto intentos de respuesta, guían la investigación científica y determinan, por tanto, el tipo de datos a recabar en el proceso de investigación (Hempel, 1998, p. 30). Este filósofo también considera que no existen como tal “reglas de inducción”, que puedan aplicarse para inferir hipótesis o teorías a partir de datos empíricos:

(...) la transición de los datos a la teoría requiere imaginación creativa. Las hipótesis y teorías científicas no se *derivan* de los hechos observados, sino que se *inventan* para dar cuenta de ellos. Las conjeturas que se alejan de las corrientes de pensamiento dominantes conllevan una gran inventiva. Esa capacidad inventiva será mayor si la persona que la produce domina los conocimientos del campo de conocimiento en cuestión, a diferencia de una persona que apenas comienza su desempeño, pues es menos probable que les propuestas que haga no sean repeticiones, o se hayan probado con anterioridad.
(*idem*, p. 33)

Asimismo, el proceso que lleva a conjeturas científicas fructíferas difícilmente puede sistematizarse. Hempel aporta un valioso ejemplo de la historia de la ciencia sobre la importancia de la imaginación en el proceso de generación de hipótesis:

El químico Kekulé, por ejemplo, nos cuenta que durante mucho tiempo intentó sin éxito hallar una fórmula de la estructura de la molécula de benceno hasta que, una tarde de 1865, encontró una solución a su problema mientras dormitaba frente a la chimenea. Contemplando las llamas, le pareció ver átomos que danzaban serpenteando. De repente, una de las serpientes se asió la cola y formó un anillo, y luego giró burlonamente ante él. Kekulé se despertó de golpe: se le había ocurrido la idea –ahora famosa y familiar– de representar la estructura molecular del benceno mediante un anillo hexagonal. El resto de la noche lo pasó extrayendo las consecuencias de esta hipótesis.
(Hempel, 1998, p. 34).

A pesar de que hipótesis y teorías pueden proponerse e inventarse con total libertad, echando mano de la capacidad creadora e imaginativa, la aceptación (y eventual incorporación al conocimiento científico) de tales hipótesis o teorías, depende de la revisión crítica (conformada por la comprobación, mediante una cuidadosa observación y experimentación, de las implicaciones contrastadoras) que será “garante de la objetividad científica” (*idem*, p. 34).

(...) al conocimiento científico no se llega aplicando un procedimiento inductivo de inferencia a datos recogidos con anterioridad, sino más bien mediante el llamado ‘método de las hipótesis’, es decir inventando hipótesis a título de intentos de respuesta a un problema de estudio, y sometiendo luego éstas a la contrastación empírica. Una parte de esa contrastación la constituirá el ver si la hipótesis está confirmada por cuantos datos relevantes hayan podido

ser obtenidos antes de la formulación de aquélla; una hipótesis aceptable tendrá que acomodarse a los datos relevantes con que ya se contaba. Otra parte de la contrastación consistirá en derivar nuevas implicaciones contrastadoras a partir de la hipótesis, y comprobarlas mediante las oportunas observaciones o experiencias.
(Hempel, 1998, p. 36).

Sin embargo, una contrastación con resultados favorables no establece una hipótesis concluyente, sólo aporta un grado mayor o menor de apoyo; es decir, los datos a partir de la contrastación apoyarían la hipótesis en términos de probabilidades (*ídem*).

Como se puede observar a partir de las reflexiones de Hempel, la labor científica implica más que sólo acumulación de observaciones, e interpretación de esas observaciones por medio de inferencias. En efecto los científicos interpretan la evidencia empírica con ayuda de la inducción. Pero, una gran cantidad de evidencia y las inferencias lógicas (deducción, inducción y abducción), no son suficientes para llegar a conclusiones y generar conocimiento. Como también señaló David Hume, desde el siglo XVIII, si la inducción fuera lo único necesario para generar conocimiento, se tendrían que observar todos los casos a lo largo del tiempo para poder alcanzar conclusiones válidas.

La creatividad es necesaria para dar el salto entre la inducción y el arribo a conclusiones. Los científicos emplean la creatividad y la imaginación a lo largo de sus investigaciones, se aventuran a hacer propuestas sobre los patrones que observan, y con base en esto proponen leyes y diseñan teorías. Por supuesto no se debe dejar de lado la subjetividad y la influencia de las tradiciones y grupos de investigación a los que pertenecen los científicos, ya que, por supuesto, ello influye y determina su manera de observar.

En *Particle Fever* la creatividad está presente en el trabajo de ambos físicos: teóricos y experimentales, pues los primeros plantean teorías a partir de la lógica, pero también aportan ideas que implican creatividad. Asimismo, los experimentales diseñan y construyen lo planteado por los teóricos. Existen al menos cuatro momentos a lo largo del documental en que los investigadores reflejan el uso de la creatividad para desarrollar sus planteamientos.

En la secuencia 4 (08'46") Dimopoulos asegura que una de las características de los científicos es una habilidad puramente artística para discernir entre una buena, y hermosa idea (en la que vale la pena invertir tiempo), y un problema lo suficientemente interesante (pero también difícil de resolver), cuyo momento para solucionar ha llegado. Lo anterior remite a la creatividad, pues tanto la habilidad para discernir entre una idea lo suficientemente interesante y lo suficientemente difícil de resolver, como reconocer el mejor momento para solucionarla son aspectos que no sólo conciernen a la lógica, sino también a esta "habilidad puramente artística" que menciona Dimopoulos, a una intuición desarrollada por los científicos, y que en el fondo remite a la creatividad.

En relación con lo anterior, Gerald Holton (1985) aporta un ejemplo del uso de la imaginación científica. En mayo de 1952 Einstein escribió una carta a un amigo en la que analiza su idea de la naturaleza del descubrimiento científico y la construcción de teorías. Einstein describe axiomas o premisas (A) que son tomados de consecuencias, y que descansan sobre las experiencias (E) que nos son dadas; aclara que no hay un camino lógico entre la experiencia y los axiomas, sólo una “conexión intuitiva (psicológica)” que siempre está “sujeta a revocación (desaprobación)”. A partir de los axiomas (y por un “sendero lógico”) se deducen aseveraciones particulares (S) que pueden pretender ser correctas; estas (S) se relacionan a las experiencias (E) de una manera “extralógica (intuitiva)”¹⁰⁹ (Einstein en Holton, 1985, pp. 188 y 189).

Holton resalta que el salto de la experiencia (E) a las premisas (A), aunque lógicamente discontinuo (tal como señala Einstein), no puede ser enteramente “libre” si las premisas pasan las pruebas para satisfacer la norma de ser una buena teoría, el salto es “inducido y guiado”, ya sea por un juego mental basado en materiales visuales, hasta cierto grado “inconscientemente” por una cierta cualidad iconográfica en Einstein, que se sumó a su racionalidad semántica cuantitativa. Asimismo, Holton aventura que el salto de las experiencias (E) a las aseveraciones particulares (S), puede ocurrir por “preferencias explícitas o más habitualmente implícitas, prejuicios, presuposiciones, etc.” (*idem*, p. 191). El propio Einstein plantea lo siguiente:

La concepción [el modelo] más sencilla que podemos tomar del origen de una ciencia natural es la que está de acuerdo con el método inductivo. Se eligen y agrupan hechos separados para que la conexión legal entre ellos se afirme claramente... Pero una rápida ojeada al verdadero desarrollo nos muestra que los grandes pasos hacia delante dados en el conocimiento científico se originaron tan sólo en pequeño grado de esta manera; pues si el investigador procedió a laborar sin ninguna opinión preconcebida, ¿cómo pudo seleccionar aquellos hechos entre la inmensa abundancia de la experiencia más compleja, y por qué aquellos lo bastante sencillos para permitir que sean evidentes las conexiones legales?¹¹⁰
(Einstein en Holton, 1985, p. 191).

Holton comparte que en los documentos científicos de Einstein, donde describe sus postulados básicos de la relatividad, estos son presentados como “corazonadas (*Vermutungen*) que ha decidido elevar a la categoría de postulados” (Holton, 1985, p. 191). Esas “corazonadas” mencionadas por Einstein, encuentran similitud con la “habilidad puramente artística” que menciona Dimopoulos en *Particle Fever*. Ambas remiten a procesos creativos que, ciertamente, resultan difíciles de rastrear. Sin lugar a dudas es necesario ahondar en la forma en que los científicos desarrollan y aplican su imaginación científica, pues el estudio de la creatividad en la ciencia va más allá de esquemas lógico-

¹⁰⁹ Carta de Einstein a Maurice Solovine, 7 de mayo de 1952, en Einstein, A. (1956) *Lettres à Maurice Solovine*, París: Gauthier-Villard, p. 120.

¹¹⁰ Einstein, A. (1919) “Induktion und Deduktion in der Physik” EN: *Berliner Tageblatt*.

analíticos. La selección de un tema, los motivos de adhesión a este, la relación entre los conceptos, o las experiencias sensoriales de un científico deberían ser algunas de las áreas a explorar desde disciplinas como la psicología, la pedagogía, la biología, la filosofía, o incluso el arte (Holton, 1985, p. 201).

Por otro lado, al inicio de la secuencia 14 (40'01") Lamont y un colega observan las fotografías que muestran la fuga de helio, se asombran y maldicen: "catástrofe total", deben abrir, limpiar y extraer más de 20 imanes, Lamont luce desencajado. Ambos investigadores deben resolver el problema de la manera más eficiente, encontrar esa solución ajustándose a las necesidades del resto del equipo también implica creatividad.

Finalmente, en la secuencia 15 (44'59") Dimopoulos habla sobre la curiosidad de los seres humanos: "¿Por qué nos importan partes lejanas del universo, cosas que sucedieron hace miles de millones de años, como el Big Bang? ¿por qué eso nos parece interesante aunque no afecta nuestra vida cotidiana? Sin embargo, una vez que se tiene curiosidad no se puede controlar"; esta reflexión propone que la curiosidad conduce a la creatividad. Poco después, en la secuencia 25 (89'24"), el mismo Dimopoulos completa la idea sobre la curiosidad (y su relación con la creatividad) cuando menciona que el anuncio de la detección de la Higgs lo hace sentir orgulloso por la humanidad, porque tuvimos la capacidad de comprender un conocimiento describiendo las "leyes de la naturaleza" en un hoja de papel.

d) *Diferencia entre hipótesis, leyes y teorías*

Hipótesis, leyes y teorías constituyen diferentes tipos de conocimientos y no se encuentran subordinados entre ellos. Por un lado, las hipótesis consisten en predicciones que, mediante la acumulación de pruebas y su eventual aceptación en la comunidad científica, pueden derivar en teorías o leyes. Por otro lado, las leyes y las teorías son dos tipos de conocimiento diferente: las leyes son generalizaciones de las relaciones en fenómenos de la naturaleza; mientras que las teorías son explicaciones inferidas a partir de esas generalizaciones. No hay forma de que una teoría se convierta en una ley, o viceversa.

Hempel considera hipótesis a cualquier enunciado sometido a contrastación (independientemente de si este describe algún hecho o evento concreto, o expresa una ley general o alguna otra proposición compleja); las implicaciones contrastadoras de una hipótesis son generalmente condicionales, es decir, establecen que "*bajo ciertas condiciones de contrastación especificadas* se producirá un resultado de un determinado tipo" (Hempel, 1998, p. 38). En ocasiones las hipótesis se pueden contrastar de manera directa (mediante un experimento), aunque la mayoría de las veces la contrastación es menos directa y simple. La experimentación se emplea en ciencia no sólo como método de contrastación, también de descubrimiento, y es en este último donde se requiere que ciertos factores se mantengan constantes. Asimismo, no todas las hipótesis (aun en las llamadas ciencias naturales) son susceptibles de contrastación experimental (*ídem*).

Cuando una hipótesis H es verdadera, se asumen, bajo circunstancias especificadas, determinados sucesos observables; así, si H es verdadera, entonces también lo es I (el enunciado que describe los hechos observables que se espera se produzcan. I se infiere de, o está implicada por, H ; es decir, I es una implicación contrastadora de la hipótesis H . Pero el hecho de que una implicación contrastadora inferida de una hipótesis resulte verdadera, no prueba que la hipótesis también lo sea: “incluso en el caso de que hayan sido confirmadas mediante contrastación cuidadosa diversas implicaciones de una hipótesis, incluso en ese caso, puede la hipótesis ser falsa”. Asimismo, una serie de resultados favorables, producto de la contrastación de distintas implicaciones contrastadoras ($I_1, I_2 \dots I_n$) de una hipótesis muestra que, en lo que respecta a tales implicaciones concretas, la hipótesis ha sido confirmada. A pesar de que este resultado no supone una prueba completa de la hipótesis, sí le confiere cierto grado de apoyo en tanto corroboración o confirmación parcial; el grado de confirmación dependerá de diversos aspectos de la hipótesis y de los datos de contrastación (Hempel, 1998).

En *Particle Fever* se habla de teorías en tres ocasiones. En la secuencia 4 (08’03”) Kaplan menciona que Dimopoulos planteó algunas de las primeras teorías que se prueban en el LHC, por lo tanto no sabe si son ciertas o no. Otro ejemplo similar ocurre en la secuencia 11 (35’30”), cuando el mismo Dimopoulos menciona que al principio de su carrera pensaba que las teorías en las que trabajaba serían puestas a prueba, conocería la “verdad experimental” y continuaría trabajando en otras teorías. En ambos ejemplos se alude la posibilidad de probar si una teoría es cierta; esto es poco preciso porque no es posible probar que una teoría es verdadera, se puede contrastar con la evidencia acumulada que apoye, valide o justifique tal teoría, pero no más. Popper consideraba que el hecho de que una teoría se pueda corroborar no significa que deba ser aceptada como verdadera o siquiera cierta o probable. Además, esta corroboración no debe entenderse como verificación (Putnam, 2018). La teoría en cuestión únicamente gana “temple” y “confianza” pero siempre será provisional.

Para Otto Neurath cuando un investigador elige una determinada enciclopedia¹¹¹ (integrada por determinadas teorías, de una gran generalidad, faltantes en otras enciclopedias disponibles) no sacrifica inmediatamente una teoría que tenga un resultado negativo, primero reflexiona sobre las aportaciones que, a futuro, podría tener la enciclopedia que pretende abandonar junto con esa teoría: “los resultados negativos pueden quebrar su confianza respecto de una enciclopedia, pero no pueden reducirla a cero, ‘automáticamente’, por así decirlo, aplicando ciertas reglas” (Neurath, 2002, p. 110). Asimismo, Neurath no considera que los experimentos sean tan cruciales en la ciencia (y critica a Popper por otorgar tanto peso a los mismos), aclara que no es que infravalore el significado del método experimental, pero asegura que este no juega un papel tan decisivo para la ciencia como lo considera

¹¹¹ Neurath denomina enciclopedias-modelo a lo que Popper nombra sistemas-modelo, Lakatos programas de investigación científica, y Kuhn paradigmas. A grandes rasgos, estas constituyen el conjunto de teorías, creencias y, en general, el bagaje que aprenden, y a partir del cual analizan, las personas que se dedican al trabajo científico.

Popper. Neurath acusa a Popper de concebir la práctica de la investigación “únicamente desde el punto de vista de un teórico que formula problemas bien delimitados al experimentador que pretende, por medio de sus experimentos, lograr una resolución exclusivamente para esos problemas”. Popper obvia que los investigadores parten de determinadas orientaciones teóricas para desempeñar su labor que, además, no es idéntica a los “estrictos planteamientos de problemas de la teoría”. Las pretensiones de Popper desembocan en la sobredimensión de la falsación hasta caer en un absolutismo de la misma, similar al absolutismo de la verificación que tanto critica (Neurath, 2002, pp. 112 y 118).

En un orden similar de ideas, Lakatos pensaba que una teoría no podía refutarse, ni verificarse, por medio de la observación o por un experimento crucial, sino por una teoría rival. En este sentido, una teoría no debe evaluarse aisladamente por contrastación con la experiencia, sino en función del programa de investigación en que se encuentra inserta (Echeverría, 1997). Lakatos estableció (a partir de su propuesta metodológica de los programas de investigación¹¹²) que una teoría sólo puede eliminarse por otra mejor, siempre y cuando la segunda exceda en contenido empírico a sus predecesoras, y sea posteriormente confirmada. Para Lakatos, un programa de investigación es progresivo cuando su desarrollo teórico anticipa su desarrollo empírico, o sea cuando predice nuevos hechos con cierto éxito. En caso contrario, cuando su desarrollo teórico se rezaga respecto a su desarrollo empírico, se dan explicaciones *post hoc*, los descubrimientos ocurren por casualidad, o predice hechos anticipados, y descubiertos, por un programa rival, y entonces ocurre un estancamiento. Cuando un programa de investigación “explica de modo progresivo más que otro rival, el primero ‘reemplaza’ al segundo, y el programa rival puede eliminarse (o si se prefiere, ‘archivarse indefinidamente’)”; sin embargo, nada garantiza el triunfo, o la eventual derrota, de un programa (Lakatos, 1987, pp. 28-30). Lakatos consideraba que los científicos prefieren una teoría por encima de otra principalmente porque posee mayor contenido empírico, y porque tiene un mayor potencial heurístico. Asimismo, aclara que un programa puede ser progresivo en un primer momento pero, tarde o temprano, puede estancarse. En este sentido, las teorías científicas y los programas de investigación están condenados a ser abandonados y sustituidos eventualmente (Echeverría, 1997).

¹¹² La propuesta de programas de investigación de Lakatos pretende diferenciarse de las propuestas de inductivismo, convencionalismo y falsacionismo. Por un lado, el inductivismo acepta únicamente proposiciones teóricas probadas por los hechos, o bien proposiciones derivadas (deductiva o inductivamente) de otras proposiciones ya demostradas. Por otro lado, el convencionalismo no demanda inferencias inductivas válidas, acepta la construcción de cualquier sistema de casillas que organice los hechos coherentemente, los cambios a nivel teórico son instrumentales, el progreso de la ciencia es acumulativo, y el progreso teórico remite más a la conveniencia que al contenido de verdad. En otro orden de ideas, el falsacionismo considera que una teoría es científica sólo si se puede contrastar con un enunciado básico, pero si la teoría está en conflicto con un enunciado básico aceptado, entonces debe ser rechazada; aunado a lo anterior Popper estableció como condición adicional para calificar una teoría de científica, su capacidad de predecir hechos nuevos inesperados a la luz del conocimiento anterior (Lakatos, 1987, pp. 13, 17 y 20). Con la metodología de los programas de investigación Lakatos pretendía construir una suerte de “falsacionismo refinado” que sintetiza las propuestas de Kuhn y Popper, (Echeverría, 1997, p. 18).

Por último, en la secuencia 15 (46'32") Kaplan explica algunos aspectos de la teoría de la supersimetría, y a lo largo de esta explicación es posible detectar características de lo que es una teoría, es decir, explicaciones inferidas a partir de las generalizaciones en los fenómenos de la naturaleza: “la manera en que intentamos reducir la complejidad del mundo es por medio de la búsqueda de patrones, de lo que llamamos simetría. Tomamos todas las partículas que conocemos hoy en día e intentamos colocarlas en una especie de estructura subyacente (...) creemos que es posible que esa (la partícula Higgs), y muchas otras partículas siguen ahí afuera, y creemos que todas forman parte de una simetría más grande, de una teoría más grande que incluye el modelo estándar, pero también muchas más cosas”. No obstante, cuando los físicos en el documental mencionan la “teoría del multiverso”, o la “teoría de la supersimetría”, en realidad se refieren a hipótesis, pues ambos planteamientos consisten en predicciones que aguardan ser contrastadas experimentalmente y, eventualmente (con base en la acumulación de pruebas) aceptadas por la comunidad científica; y sólo hasta ese momento podrían derivar en leyes o teorías (dependiendo si consisten en generalizaciones de las relaciones en fenómenos de la naturaleza, o de explicaciones inferidas a partir de tales generalizaciones). En tanto hipótesis, la supersimetría y el multiverso son planteamientos provisionales; pero aún cuando se conviertan en conocimiento validado por la experimentación (y aceptado por la comunidad científica), este también sería provisional.

e) Modelos científicos

El concepto de modelo adquirió gran importancia en la filosofía de la ciencia hasta la década de los setenta del siglo XX; antes de eso la atención estaba en las teorías científicas y la relación de estas con la experiencia. Entonces prevalecía la concepción sintáctica (también denominada clásica) de las teorías científicas; adherido al positivismo lógico, este enfoque considera que una teoría es “un conjunto de oraciones en un sistema axiomatizado de primer orden lógico” en el que los modelos son irrelevantes para la ciencia¹¹³ (Frigg y Hartmann, 2018). En los cincuenta Patrick Suppes fue de los primeros filósofos en criticar que la Concepción Heredada identificara las teorías con determinadas formulaciones lingüísticas; Suppes desarrolló un programa alternativo a la axiomatización de teorías y con esto inició el enfoque semántico (Díez y Moulines, 1997). La concepción semántica de las teorías científicas establece que una teoría no está constituida por un conjunto de oraciones lógicas cerradas, sino por un conjunto de modelos. Este enfoque enfatiza la importancia de los modelos para el análisis de la ciencia, a diferencia de la concepción clásica, que destaca aspectos lingüístico-sintácticos (*idem*) Entonces los modelos dejan de ser sólo complementos que servían para ejemplificar teorías (Cassini, 2016).

¹¹³ A pesar de esto, Ernest Nagel fue uno de los autores de la concepción clásica que otorgó un peso considerable a los modelos, sostenía que estos tienen valor heurístico y permiten el surgimiento de líneas de investigación nuevas que no se obtendrían del mero análisis de la teoría. Los modelos constituyen uno de los tres componentes de las teorías, junto con los postulados teóricos y las reglas de correspondencia. Aunque para Nagel los modelos aportan una interpretación más aprehensible de los términos teóricos, no constituyen una parte esencial de esta (Cassini, 2016).

Una amplia variedad de elementos (íconos, prototipos, maquetas, mapas, diagramas, ecuaciones, entre otros) se pueden considerar modelos, tanto objetos físicos¹¹⁴, como objetos ficticiales¹¹⁵, estructuras teóricas, descripciones, o incluso la combinación de estos (Frigg y Hartmann, 2018). Los modelos constituyen una representación idealizada de un fenómeno particular, esta representación es aproximada, simplificada y frecuentemente distorsionada. Los modelos desempeñan una función heurística, didáctica y predictiva, pues permiten acercarse a fenómenos que no son accesibles de otra forma. Sin embargo, el término “modelo” ha sido interpretado de diferente manera por diversos grupos (tanto de científicos, como de filósofos de la ciencia) así que, aun dentro de la concepción semántica, existen diferentes posturas en torno al estudio de los modelos. En general, casi todas las familias semánticas concuerdan en las funciones heurística, didáctica y predictiva de los modelos, pero su función explicativa es una de las más debatidas (Cassini, 2016).

Las distintas versiones de la concepción semántica consideran que los modelos de una teoría se relacionan con los fenómenos por medio de la representación; sin embargo, la caracterización de lo que constituye una representación es un tema controversial. Por otro lado, filósofos como Mary Morgan y Margaret Morrison se oponen tanto a la concepción sintáctica como a la semántica, pues consideran que los modelos son instrumentos que se emplean en el trabajo científico, pero también cumplen una función representativa; es decir, retomando los planteamientos de Hacking (1996), los modelos se usan para representar y para intervenir. Así, los modelos no son constitutivos de una teoría, pero tampoco son completamente independientes de ella. También cabe mencionar el problema de la representación inadecuada, pues que un modelo sea representativo no implica que tal representación sea adecuada (Cassini, 2016).

En otro orden de ideas, la creencia de que los modelos científicos son representaciones de la realidad conlleva una discusión sobre el realismo y el instrumentalismo. Por un lado, el realismo es una postura filosófica que considera que las representaciones describen realmente la situación en la naturaleza, de tal manera que los productos de la ciencia funcionan y permiten generar predicciones acertadas. Por otro lado, el instrumentalismo considera que los modelos son sólo herramientas que ayudan a realizar cálculos y predicciones.

Tal como se puede observar en *Particle Fever*, en la ciencia contemporánea la modelización constituye una de las principales actividades de los científicos. Existen al menos dos

¹¹⁴ Los modelos que constituyen objetos físicos se denominan “modelos materiales”, comprenden cualquier cosa que sea una entidad física y que sirva como representación científica de algo más. Ejemplo de modelos materiales son un auto de madera, o el modelo de metal del ADN de Watson y Crick (Frigg y Hartmann, 2018).

¹¹⁵ Los modelos que no son materiales (como el modelo del átomo de Bohr, o un péndulo sin fricción) son planteamientos mentales de los científicos que no necesitan construirse físicamente para cumplir con su función de representación (Frigg y Hartmann, 2018).

momentos del documental en que se echa mano de modelos para explicar fenómenos complejos. Cabe resaltar que en ninguno se menciona a la audiencia si estos son modelos en tanto copias de la realidad (realismo), o como representaciones que ayudan a que los científicos tengan una mejor aprehensión de esta (instrumentalismo).

En la secuencia 6 (14'45'') Dunford explica en qué consiste el experimento del LHC con ayuda de una animación (que muestra dos autos de juguete chocando uno contra otro, los diferentes componentes se separan, dos de las llantas giran y se convierten en un átomo con protones en su interior. Esto se transforma en un gran círculo que se superpone a un mapa de la frontera franco-suiza, que emula la circunferencia del LHC, a lo largo de la cual giran dos protones en sentido inverso; se producen colisiones en cuatro puntos que corresponden a cada uno de los experimentos: ATLAS, LHCb, CMS y ALICE). Tanto la animación como el experimento del LHC constituyen modelos. La animación es un modelo realista, en tanto copia de la realidad (más o menos fiel); mientras que el experimento del LHC es un modelo instrumentalista, pues consiste en una representación que ayuda a los científicos a tener una idea de lo que pudo haber ocurrido cuando tuvo lugar el Big Bang. Asimismo, se puede aseverar que este modelo, en tanto representación simplificada, cumple con una función didáctica, pues muestra a la audiencia un fenómeno de manera accesible.

En otro orden de ideas, en la secuencia 20 (66'26'') se presenta una animación a partir de la colisión dentro del túnel, una serie de haces ingresan a una caja, un haz asciende por un tubo y viaja hasta el centro de cómputo, es procesado por los servidores del CERN, de ahí salen líneas hacia fuera del globo terráqueo y trazan trayectorias hacia diferentes países del mundo. Esta animación consiste en un modelo, más o menos realista, de lo que hace el experimento, y cómo es que los datos que arroja viajan del túnel hacia las supercomputadoras y de ahí se manda a centros de investigación alrededor del mundo. Al igual que en el ejemplo anterior, este modelo constituye una representación aproximada y también cumple con una función didáctica.

Finalmente, el planteamiento del multiverso y de la supersimetría son modelos de datos, de objetos ficcionales no materiales que se basan en planteamientos mentales. El hecho de que no sean objetos físicos que se puedan observar o manejar (como los objetos presentados en las animaciones de los ejemplos anteriores) no significa que no tengan una función representativa. A diferencia de los modelos en los ejemplos anteriores, este constituye una representación idealizada que desempeña una función predictiva. La supersimetría y el multiverso, en tanto hipótesis, están sujetas a revisión; y en tanto modelos de datos, pasan por correcciones y rectificaciones. La construcción de modelos de datos es un proceso complejo que requiere de técnicas estadísticas sofisticadas y plantea serias preguntas metodológicas y filosóficas (Frigg y Hartmann, 2018).

Relacionado con los modelos y las hipótesis teóricas, Roland Giere propone una concepción semántica desde una perspectiva cognitiva, desde la cual considera las teorías como “medios para definir modelos abstractos de los que se postula su aplicación a ciertos sistemas reales” (Díez y Moulines, 1997, p. 347). Algunos modelos pueden estar físicamente constituidos, pero generalmente no son así, y tampoco tienen que ser entidades físicas: “un modelo teórico es parte de un mundo imaginado. No existe en ningún lugar excepto en las mentes de los científicos o como sujetos abstractos de las descripciones verbales que los científicos describen” (Giere, 1984, p. 26). Una vez que se definen los modelos teóricos, se formulan determinadas hipótesis teóricas, es decir proposiciones que afirman una relación entre un modelo y un sistema real (Díez y Moulines, 1997).

f) Contexto social y subjetividad

En tanto que es realizada por personas insertas en un determinado contexto social, la labor científica y el conocimiento que resulta de esta, son influidos por aspectos sociales y culturales de ese mismo contexto, aunque al mismo tiempo también influyen en él. Los científicos tienen numerosas preconcepciones, ideas, valores, creencias personales y bagaje cultural que influye en las interpretaciones de las observaciones que realizan, así como en el desempeño de su trabajo. Y debido a que el conocimiento científico es un producto realizado por personas, no puede ser completamente objetivo, porque no es posible eliminar radicalmente la subjetividad inherente a las personas que lo desarrollan.

Existen siete momentos a lo largo del documental en que se alude al contexto social en que los científicos nacieron y vivieron sus primeros años, y cómo esto influyó en su decisión para estudiar física, o para tener una concepción del mundo determinada. En general, se presenta a los siete investigadores como personas provenientes de contextos culturales diversos, de edades diferentes y creencias divergentes.

Un primer ejemplo se encuentra en la secuencia 3 (05'30") cuando Kaplan brinda el contexto histórico, social y político de la construcción del CERN. Señala que en Estados Unidos se estaba construyendo uno, pero hubo problemas políticos; con imágenes de *stock* se presentan los debates en la cámara estadounidense donde aparecen dos congresistas republicanos hablando sobre el gasto que implica un experimento que intenta comprender los orígenes del universo, ambos parecen estar en desacuerdo con el cuantioso desembolso.

Un ejemplo más personal tiene lugar en la secuencia 10 (30'40"), cuando Arkani-Hamed comenta que sus padres son físicos iraníes que tuvieron que salir de su país por problemas políticos con el régimen y llegaron a Canadá. Se interesó en la física desde los 13 años porque combinaba su interés en matemáticas y en el mundo natural. Aparentemente la preparación de los padres de Arkani-Hamed influyó en su elección de carrera, pues no es común que alguien tan joven decida sobre su futuro académico. Esta vocación temprana explica en parte la intensidad que Arkani-Hamed expresa en diversos momentos, y sobre

todo lo que para él significa el experimento que se realiza en el CERN, y que ha estado esperando a lo largo de su vida.

Similar al ejemplo anterior, en la secuencia 11 (34'33") Dimopoulos comenta que viene de una familia griega que en los años 60 se convirtió en refugiada y se vio forzada a abandonar su país debido a problemas entre turcos y griegos por la isla de Chipre. Dimopoulos asevera que estos conflictos políticos lo instaron a estudiar un campo en el que la verdad no dependiera de la elocuencia del orador, sino que fuera "absoluta". Es un comentario ingenuo por parte de Dimopoulos pues revela que para él la ciencia es un área del conocimiento neutral donde existe la "verdad" y además se puede "descubrir". Por otro lado, considera que la política es un ámbito subjetivo donde la "verdad" es tergiversada por grupos rivales. Para Kuhn la idea de que existe una "verdad objetiva" no tiene sentido porque no consideraba que las observaciones fueran neutrales, u objetivas, argumentaba que estas tenían una carga teórica. Es decir, los investigadores atraviesan por una educación que los enseña a observar su entorno de una manera determinada, a partir de un conjunto de teorías e ideas, que en adelante van a determinar en cierto grado su manera de percibir el mundo.

La carga teórica del experimento en el LHC radica en el bagaje académico y profesional de los investigadores, aprendido a lo largo de su preparación académica, basado en literatura científica aprobada por el gremio y fundamental para la práctica profesional posterior. Lo anterior es característico de lo que Kuhn denomina ciencia normal, esto es "investigación basada firmemente en uno o más logros científicos pasados, logros que una comunidad científica particular reconoce durante algún tiempo como el fundamento de su práctica ulterior" (Kuhn, 2013, p. 114). Se trata de teoría aceptada que resulta útil durante un tiempo para "definir los problemas y métodos legítimos de investigación para las sucesivas generaciones de científicos" (*idem*). La ciencia normal se caracteriza porque durante ella los científicos no buscan nuevas teorías, aplican las que ya están dadas y aceptadas. En la ciencia normal existe un conjunto de leyes, teorías, aplicaciones, instrumentación y modelos de los que surgen "tradiciones particulares y coherentes de investigación científica". De acuerdo con Kuhn, los paradigmas preparan al estudiante para convertirse en miembro de la comunidad científica particular en la que eventualmente va a trabajar con colegas que poseen los mismos modelos, de manera que su práctica difícilmente discrepará de la práctica del resto.

Durante la ciencia normal los científicos no buscan nuevas teorías, simplemente aplican las que aprendieron en su periodo de formación, que por supuesto han aceptado, y que han seguido desarrollado a lo largo de su vida laboral. Algunos investigadores se dedican a organizar mejor el cuerpo de conocimientos disponibles, en ocasiones los amplían, pero difícilmente fuera de los límites del paradigma. Otros investigadores se dedican a resolver algunos de los problemas o inconsistencias del paradigma. Este es el caso de los físicos teóricos que aparecen en *Particle Fever*; Dimopoulos, Arkani-Hamed y Kaplan han

dedicado su vida laboral a tratar de resolver algunas de esas inconsistencias, planteando hipótesis que proponen resoluciones. En el documental se sugiere que si los datos arrojados por el experimento favorecen la hipótesis del multiverso, entonces “en cierto sentido es el fin de la física”, asevera Kaplan en el minuto 57’15”. Sin embargo, por muy radical que esto pueda parecer, no están realizando más que ajustes dentro del mismo paradigma, difícilmente uno de los resultados saldría de este. Incluso al final, cuando se anuncia la masa de la Higgs, y a pesar de que el resultado no es lo que esperaban (ni coincide con las hipótesis propuestas) no sale del paradigma, continúan trabajando en un período de ciencia normal, sólo están ajustando anomalías (fenómenos que no son explicables en el marco conceptual del paradigma, o que incluso caen en contradicciones, sin que esto signifique que las teorías planteadas serán refutadas) y que según Kuhn (2013) son comunes en la etapa de ciencia normal. Un paradigma no podrá ser rechazado mientras no aparezca un paradigma rival, que tendría lugar hasta que existan numerosas anomalías y los científicos jóvenes indaguen nuevas ideas, propongan hipótesis atípicas y se distancien considerablemente del paradigma vigente, “es la etapa que Kuhn y Feyerabend llamaron de proliferación de teorías. Entre esa diversidad de nuevas teorías acaba imponiéndose una, que será el germen del paradigma alternativo. La sustitución de un paradigma por otro implica crisis y controversias: es una revolución científica” (Echeverría, 1997, p. 15).

Prejuicios, ideas, bagaje, formación académica, y trayectoria profesional que poseen los científicos influyen en las interpretaciones de las observaciones que llevan a cabo en su trabajo. Sin embargo, esto tampoco significa que los científicos se rijan bajo los mismos criterios que cualquier persona; según Neurath a veces los criterios lógicos no son suficientes para que los científicos elijan entre teorías o hipótesis, quizá porque tales teorías o hipótesis cuentan con los mismos atributos, cuando esto sucede los científicos echan mano de “motivos auxiliares”, que les ayudan a tomar decisiones en casos de incertidumbre. La aceptación de teorías o hipótesis depende de consideraciones que van más allá de la mera contrastación empírica de los enunciados, o de la refutación de las hipótesis por medio de experimentos, pues no hay experimentos cruciales en la ciencia. Neurath estima que hay consideraciones internas y externas a la práctica científica, entre las segundas se encuentran cuestiones contextuales como el valor práctico de una teoría, su utilidad o su conveniencia social. Para Neurath no existe un proceso mecánico para la aceptación de hipótesis porque, aunque la ciencia tiene una metodología, es imposible aislarla de la parte social. Por lo tanto, tampoco se logra una completa neutralidad en la teorización, pues las actitudes personales, la formación y los intereses también van a influir en la elección de una teoría¹¹⁶.

¹¹⁶ Neurath tenía una concepción holista del conocimiento científico, consideraba la ciencia como producto humano, al servicio de intereses también humanos. De manera que pensaba en la actividad científica como un conjunto de procesos y productos dentro de un contexto histórico y social, sometida a la contingencia humana, que debía considerarse en constante construcción. Para ilustrar esto decía que “...somos como marineros que tienen que reconstruir su nave en medio del mar abierto, sin siquiera tener la posibilidad de desmantelarla en un muelle y reconstruirla con los mejores materiales...”. En tanto que la teoría y la experiencia se entretujan, no es posible hablar de una total objetividad o neutralidad (Jordi, 2019).

Otro ejemplo sobre el contexto ocurre de nuevo en la secuencia 11 (36'18") cuando Gianotti habla de sus estudios de bachillerato en literatura, arte, filosofía, historia, música y piano. Habla de las similitudes entre la música y la física (la música clásica se guía por reglas de armonía que en realidad son reglas de física y matemáticas). Asimismo conversa sobre su interés por responder a grandes preguntas sobre la naturaleza y el universo. Asegura que decidió estudiar física porque pensó que le permitía abordar estos cuestionamientos de un modo más práctico que la filosofía. La inclinación de Gianotti por la música la condujo a estudiar física, de manera que se observa la influencia de su contexto, e historia de vida, en la profesión que ejerce.

Finalmente, en la secuencia 18 (60'20") Lamont confiesa que han discutido la posibilidad de realizar las colisiones durante la noche (para evitar fallar frente a los medios). En la misma secuencia, minutos después (60'38"), Gianotti discute con una colega las implicaciones de tal posibilidad. Más adelante, aún en la secuencia 18 (61'16"), Aleksa comenta que los físicos quieren hacer el experimento en secreto y mostrarlo a los medios en el día pero, asegura que en la actualidad esto no funciona porque los medios quieren presenciar todo. El hecho de que en la actualidad los medios de comunicación transmitan acontecimientos científicos a la población es parte de la responsabilidad social que implica el trabajo científico, sobre todo en un experimento tan importante y costoso como este. Sin embargo, también es comprensible que los investigadores consideren la presencia de los medios una molestia, pues se sienten constantemente temerosos de que algo pueda salir mal y sea magnificado, o incomprendido porque, ciertamente, algunos medios tergiversan la información científica. La presencia de los medios a lo largo de momentos importantes del experimento (inicio, primera colisión, presentación de resultados) ejerce presión sobre los investigadores, los lleva a tomar decisiones que no tomarían si los medios no estuvieran presentes. Es decir, el contexto social incide en el actuar de los investigadores, que modifican sus decisiones con base en esto. Sin embargo, los científicos no parecen identificar a los medios de comunicación como herramienta de la sociedad para acercarse a la ciencia y saber en qué se invierten sus impuestos.

g) Trabajo en equipo

Gran parte del trabajo científico es realizado por equipos de investigadores, la idea de que los científicos trabajan en solitario es errada, no sólo por la gran cantidad de trabajo que implica, sino también porque no es cierta la idea de la epifanía de una sola persona. Generalmente, para conectar los puntos y observar patrones se requiere trabajo en equipo. Y en tanto que es producto del trabajo en equipo, implica un largo proceso de negociación. A lo largo del documental hay once ocasiones en que se hace patente el trabajo en equipo por parte de los investigadores que trabajan en el CERN.

El primer momento ocurre desde el inicio, en la secuencia 2 (04'46"), pues Gianotti menciona lo importante que es la colaboración entre los físicos teóricos y los físicos

experimentales. Kaplan apoya la idea del trabajo en conjunto. Posteriormente, en la secuencia 7 (16'15"), el mismo investigador compara el trabajo en equipo del CERN con el esfuerzo colaborativo que implicó la llegada del hombre a la luna.

Posteriormente, en la secuencia 9 (23'55") se muestra a un grupo de investigadores reunidos previo a la prueba del primer lanzamiento, un investigador le pide al resto ser muy cuidadosos con el sistema computacional, les pide no actualizar ni tocar nada en las computadoras. Minutos después, en la misma secuencia 9 (26'10"), Lyn Evans y decenas de investigadores se preparan para el lanzamiento en la sala de controles, se retratan los líderes y grupos de investigadores de cada experimento, gran parte del personal del CERN aguarda el arranque de operaciones.

En la secuencia 12 (38'06") Aleksa conversa con colegas sobre la fuga de helio, todos lucen serios. En *off* Aleksa menciona lo frustrante que es la fuga y la imposibilidad ante la impotencia de no poder bajar a revisar, advierte que la investigación será lenta puesto que los imanes deben enfriarse. En imágenes subsecuentes aparecen salas de juntas llenas de investigadores discutiendo, lucen preocupados y apresurados.

Por otro lado, en la secuencia 14 (42'05") numerosos técnicos trabajan en el retiro de varios imanes. En súper aparece la fecha "2009", y se muestra en plano detalle el daño que han sufrido algunos imanes (lucen quemados o incompletos). Más adelante, en la misma secuencia 14 (42'35") se ve a Lamont en reunión con cuatro colegas discutiendo sobre los tiempos que tomará arreglar los imanes. En imágenes subsecuentes se muestra un collage de imágenes con diversos técnicos soldando los mismos. Una de las investigadoras acepta: "realmente no pensamos en los efectos colaterales del helio. Nadie lo hizo", otro colega advierte "los experimentalistas no van a estar satisfechos" y Lamont hace una expresión de desagrado y resignación. Continúan discutiendo sobre el tiempo que tomará la reparación. En la secuencia 17 (58'25") de nuevo Lamont y sus colegas conversan y se preparan para reiniciar operaciones una vez reparados los imanes, lucen serios aunque bromean sobre la tensión que llevan auestas. Es sobre todo en estas escenas que se aprecia el proceso de negociación, y desencuentro, al interior de esta comunidad. Por otro lado, también se hace patente el largo proceso que toma idear soluciones ante un desperfecto, y la cantidad de personas que deben organizarse para gestionar los arreglos, pues en estos intervienen especialistas de diversas áreas.

Otro ejemplo de trabajo en equipo tiene lugar en la secuencia 19 (62'09") el día de la primera colisión, decenas de investigadores en la sala de control del CERN aguardan nerviosos y emocionados el choque de haces de protón. Algunos lucen alegres, otros ocupados, unos más nerviosos, en general entusiasmados. Conversan entre ellos y al momento de la colisión comparten su felicidad abrazándose.

En la secuencia 20 (67'05") Dunford expone sus datos frente a un grupo de colegas. Escenas posteriores muestran imágenes similares de investigadores trabajando en conjunto a partir de los datos que se generan por las colisiones. Dunford explica la importancia que tienen los datos, y lo ocupados que están todos analizándolos.

Finalmente, en la secuencia 24 (82'03"), durante la presentación de resultados, Joe Incandela reconoce, y agradece, la labor del equipo de 500 personas que trabajan en el CERN para el experimento CMS, y recuerda que hay por lo menos 4 mil personas involucradas en este.

h) Diferencia entre ciencia y tecnología

La ciencia y la tecnología estrecharon lazos a lo largo del siglo XIX, y en la segunda mitad del XX esta aleación dio lugar a la tecnociencia (que surgió, y se ha desarrollado, principalmente en Estados Unidos). En 1983, Bruno Latour empleó el término "tecnociencia" por primera vez, en un intento por hibridar la dupla "ciencia y tecnología" (Echeverría, 2005). Es posible distinguir tres etapas de la tecnociencia, la primera se caracterizó por la emergencia de la macrociencia (*big science*), entre 1940 y 1965; en este período abundó la investigación básica, particularmente en física, química y matemáticas. La segunda etapa tuvo lugar en la década de 1966 a 1976, y se distinguió por ser un lapso en crisis y estancamiento. En la tercera etapa (a lo largo del último cuarto del siglo XX) emergió la tecnociencia con un enorme impulso de las grandes empresas y el desarrollo de nuevas tecnologías (*idem*).

La tecnociencia es realizada por un gran equipo o una empresa, pues esta actividad requiere de grandes inversiones (*idem*). En este sentido los experimentos y el trabajo que cientos de investigadores realizan para el CERN podrían considerarse tecnociencia, no sólo por la infraestructura y los grandes aparatos (como el LHC, el ATLAS o las supercomputadoras) que emplean, sino también por la enorme producción de conocimiento que ha generado desde que inició operaciones. Por ejemplo, en el minuto 6'15" de *Particle Fever* Kaplan relata que la *world wide web* se inventó en este lugar como herramienta para que los investigadores alrededor del mundo pudieran compartir datos.

El CERN constituye una gran fábrica de producción de conocimiento científico, donde se agrupan no sólo físicos, también ingenieros, tecnólogos, técnicos y otros cientos de especialistas que colaboran en este gran proyecto. El modo en que los investigadores trabajan en este lugar es radicalmente diferente a como lo hacían los físicos de hace un siglo, o incluso de hace 50 años, pues los laboratorios de las universidades donde generalmente hacían sus experimentos eran mucho más pequeños. Por otro lado, para Echeverría una característica de la tecnociencia es que el prestigio de científicos e ingenieros aumenta; aunque al mismo tiempo la sociedad comienza a desconfiar de los expertos (*idem*). Esta particularidad apenas se alcanza a distinguir en el documental, pues los medios manifiestan el temor de algunas personas porque el experimento tenga consecuencias devastadoras.

Sin embargo, es importante señalar que no todo el conocimiento científico deviene en tecnología, también se lleva a cabo investigación cuyo objetivo no es construir o inventar tecnología en beneficio de la sociedad. Mucho trabajo de investigación se realiza para profundizar en el conocimiento de fenómenos naturales y otros aspectos del entorno. La distinción entre ciencia y tecnología ayuda a entender que la ciencia no sirve sólo para solucionar problemas, o mejorar la vida de las personas. A lo largo del documental hay dos ocasiones en que se plantea la diferencia entre ciencia básica y ciencia aplicada que deviene en tecnología.

En la secuencia 7 (17'02") Kaplan habla de los propósitos del experimento en el LHC que describe como: a) reproducir las condiciones físicas posteriores al Big Bang; y b) comprender las leyes básicas de la naturaleza. Lo anterior denota que este experimento no va a tener aplicaciones tecnológicas inmediatas porque se trata de ciencia básica; es decir, a través del LHC los investigadores pretenden conocer más sobre un fenómeno del que saben poco, para así desconocer menos. Más adelante, en la misma secuencia 7 (19'40"), un economista pregunta a Kaplan sobre los beneficios económicos y tecnológicos a partir de este experimento; a lo que responde: "la ciencia básica para los grandes avances necesita llevarse a cabo en un nivel en el que no nos preguntamos por el beneficio económico, más bien nos preguntamos ¿qué no sabemos y cómo podemos progresar?". No toda la investigación científica se desarrolla para generar ganancias económicas por medio de la venta de tecnología.

En general el documental describe el experimento del LHC como un gran esfuerzo en conjunto con numerosas naciones y científicos con diferentes especialidades (aunque sólo se retrata a los físicos). Desde el principio establece que no hay una finalidad tecnológica específica, aunque frecuentemente encuadra los grandes aparatos tecnológicos que se construyeron para realizar el experimento. En un tono epidíctico el documental justifica el hecho de que esta investigación, este gran experimento, no se lleva a cabo para producir tecnología, sino para conocer más sobre aspectos de la física, y del surgimiento del universo, que hasta ahora se desconocen.

En el mismo sentido, cabe resaltar que la innovación científica no siempre se refiere a objetos físicos; el conocimiento que surge a partir de la ciencia básica también implica innovación aunque no tenga como principal objetivo generar objetos tecnológicos. El conocimiento es uno de los beneficios más importantes de estas investigaciones a gran escala, pues permite resolver problemas o inconsistencias en las hipótesis o teorías que se analizan y, eventualmente, esto permite completar el conocimiento:

(...) es inconcebible que tal división de la ciencia (en "básica" y "aplicada") se le hubiera ocurrido a un científico activo. Porque para nosotros toda la ciencia es aplicada. La idea de que exista un conocimiento "inútil" o "no aplicable" es absurda, porque por definición todo

el conocimiento es útil y aplicable. El uso más común e importante del conocimiento es en la obtención de nuevo conocimiento; la información generada por un trabajo científico sirve, en primerísimo lugar, para plantear nuevas hipótesis y para obtener nuevos datos. En este sentido, la ciencia “pura” no existe, toda la ciencia es “aplicada”. (Pérez-Tamayo, 2010, pp. 141 y 142).

Por último, también es indispensable acotar que la investigación y experimentación documentada en *Particle Fever* no es la manera en que comúnmente se realiza la ciencia básica. Como se relata en la secuencia 3, este es un experimento excepcional que ha contado con la colaboración de decenas de naciones. La ciencia básica generalmente no tiene la cantidad de dinero, la numerosa participación internacional de científicos, ni los sofisticados aparatos tecnológicos del CERN; suele ser mucho más modesta en gasto, personal y equipo, sobre todo a nivel de las universidades. Sin embargo, como se mencionó al inicio de este apartado, la tendencia es hacia ciencia de gran escala, pero esta la hacen principalmente grandes empresas, y no las universidades, ni los institutos de investigación, al menos no sin patrocinadores.

- *Descripción de la función social del documental de divulgación de ciencia*

De acuerdo con datos del Eurobarómetro de Ciencia y Tecnología 2010, la mayor parte de la información científica proviene de los medios de comunicación; sin embargo, con frecuencia transmiten datos erróneos, distorsionados y con numerosas imprecisiones (Nepote, 2015). Es necesario exigir a estos medios mayor responsabilidad y compromiso social al divulgar conocimientos y sus procesos. Contar con la participación, o el respaldo, de investigadores asesores garantizaría en parte la validez científica de los contenidos.

El documental de divulgación suele presentar contenidos de manera sintética y entretenida, y aunque no pretende transmitir detalladamente gran cantidad de conocimientos debe procurar siempre un rigor científico (León, 2002). Estas producciones generalmente abordan resultados de investigaciones, hechos, conocimientos, argumentaciones o hipótesis basadas en estudios científicos. Asimismo, emplean estructuras narrativas y herramientas visuales que propician la comprensión, el interés, la concienciación, la formación de criterio y el entretenimiento de la audiencia. La validez científica de los contenidos debe garantizarse mostrando explícitamente (en la imagen, la narración o los títulos de crédito) la colaboración, o el aval, de expertos o instituciones científicas como fuentes de información, o asesores de contenido (Salcedo, 2010). *Particle Fever* cuenta con el apoyo de prestigiados investigadores e instituciones científicas, que validan los datos y procesos relatados en el documental. En este sentido, Levinson y su equipo de producción fueron suficientemente responsables y se comprometieron a divulgar adecuadamente un tema.

Una de las funciones sociales de la divulgación tiene que ver con explicar los beneficios de la ciencia, con la finalidad de incentivar a los jóvenes a cursar carreras científicas (Nepote, 2015).

Sin embargo, cuando los medios exponen y celebran las proezas científicas caen en una “divulgación demagógica”, que perpetua una comunicación que va desde los centros del saber hacia los no especialistas, que no informa objetivamente, ni conduce a una apropiación del conocimiento; se caracteriza por la presentación de grandes maquinarias, científicos con batas y en laboratorios (Fayard, 2004). Aunque algunos de estos elementos se encuentran en *Particle Fever* (principalmente el despliegue de grandes aparatos tecnológicos), la forma en que son presentados no cae en un discurso celebratorio o demagógico, pues a lo largo del documental, sobre todo al final, se muestran los obstáculos de esta labor y se resaltan las inexactitudes en los datos que obtienen los investigadores; esto impide que el discurso caiga en la celebración ramplona, si bien hay un par de momentos que acentúan la alegría en el inicio del experimento y en lo que parece la detección exitosa de la partícula Higgs.

A la función anteriormente descrita, se añaden otras que Elaine Reynoso (2015) clasifica en cinco perspectivas: cultural-artística, educativa, propagandística, socio-política y comercial. La mirada cultural-artística destaca la importancia de la ciencia como parte de la cultura. La perspectiva educativa considera la comunicación pública de la ciencia un complemento de la educación formal. El enfoque propagandístico estima importante convencer a la sociedad, y a los tomadores de decisiones, de la importancia de apoyar la ciencia. La mirada socio-política parte de la idea de que comunicar la ciencia es una labor política que contribuye a formar ciudadanos capaces de tomar decisiones informadas, que participen en temas de ciencia y sus aplicaciones. La perspectiva comercial considera los productos de comunicación de la ciencia importantes fuentes de ingresos, y para ello desarrolla estrategias mercadotécnicas. La divulgación implica una gran responsabilidad social, pues pretende que los ciudadanos incorporen la ciencia a su bagaje de cultura general (Reynoso, 2015). *Particle Fever* incluye al menos dos de las perspectivas que menciona Reynoso: la cultural-artística y la educativa. Primeramente, se muestra la ciencia como parte de la cultura porque relata el proceso histórico implicado en el experimento (desde la descripción del modelo atómico, hasta la búsqueda de la partícula bosón de Higgs). Asimismo, el contenido constituye un complemento de la educación formal, pues brinda a la audiencia información actualizada en física de partículas.

En otro orden de ideas, la divulgación de ciencia también puede mostrar la importancia, utilidad, y hasta belleza, de la ciencia y el conocimiento basado en ella, que no sólo remite a beneficios materiales, también a los conocimientos que aporta a la población, y que le ayudan a decidir, y participar, responsablemente en proyectos de ciencia ciudadana (Estrada, 2015; Reynoso y Franco, 2015). Aunado a lo anterior, la divulgación también contribuye a transmitir que la ciencia es, hasta este momento, una de las formas de conocimiento más sólidas que fomenta un pensamiento crítico y libre; y que la investigación científica construye esquemas interpretativos que ayudan a comprender fenómenos de la naturaleza (Estrada, 2015). *Particle Fever* presenta el conocimiento, y los procesos científicos no sólo desde una perspectiva utilitaria (que conduce a beneficios tecnológicos), también destaca la importancia del

conocimiento, y muestra la investigación científica como una manera de comprender un fenómeno de la naturaleza (como el inicio del universo y la constitución de las partículas).

La divulgación también contribuye mantener a la ciudadanía actualizada en temas de ciencia que forman, o deben formar, parte del bagaje cultural mínimo, pero que la enseñanza escolarizada muchas veces no alcanza a cubrir, y que resultan indispensables para la construcción del diálogo entre la sociedad y la comunidad científica (Nepote, 2015). Entre los beneficios de divulgar la ciencia se encuentran: incentivar el gusto por el aprendizaje constante, presentar de manera accesible los resultados de la investigación científica, disminuir la brecha entre los conocimientos aprendidos en la escuela y el desarrollo científico-tecnológico actual, entre otros (*idem*). En contraste con la educación formal, la comunicación pública de la ciencia divulga más preguntas que respuestas (Fayard, 2004). *Particle Fever* presenta de manera accesible no sólo los resultados de una investigación científica, también da cuenta del arduo y discontinuo proceso. Sin embargo, no es posible saber si con esto contribuye a estrechar la brecha entre el desarrollo científico actual y lo aprendido en la escuela, o si incentiva en la audiencia el gusto por el aprendizaje, para saber lo anterior sería necesario llevar a cabo un análisis de audiencias.

Finalmente, la comunicación pública de la ciencia implica una doble relación de confianza; por un lado con los investigadores informantes, y por el otro con el público. Mantener esta relación requiere transparencia para fungir como representante de las preguntas de la audiencia, y además ser portador de las respuestas científicas para comunicarlas de manera clara (Fayard, 2004). *Particle Fever* comunica fielmente los pormenores del trabajo científico que tiene lugar en el CERN, e informa los resultados del experimento que concluye con la detección de la partícula bosón de Higgs. Es posible apreciar la relación de confianza con los investigadores informantes; y podría considerarse que representa las preguntas de público, porque informa de manera sencilla y clara. Sin embargo, hay que recordar que Levinson jamás pretendió hacer un documental de divulgación, aunque sí apelaba a un relato interesante para el público.

Aquí concluye el nivel de análisis narrativo histórico-cultural. Asimismo, se cierra el tercer capítulo de esta investigación, que consiste en la aplicación de la metodología analítica al documental *Particle Fever*. En el siguiente capítulo se lleva a cabo la discusión de los resultados alcanzados.

Capítulo 4

Discusión de resultados

Este capítulo está integrado por dos secciones: la primera consiste en la discusión de la metodología diseñada para llevar a cabo el análisis del documental, y está conformada por tres apartados: el primero expone los problemas enfrentados al diseñar la metodología, el segundo los problemas que se presentaron al hacer el análisis; y finalmente se enlistan algunas recomendaciones para aplicar esta metodología al análisis de otras producciones de divulgación de ciencia. En la segunda sección se discute el producto analizado en sí, es decir, las aportaciones de *Particle Fever* al género de documentales de divulgación de ciencia, y sus elementos mejorables. Asimismo, se sugieren elementos que no están presentes en este documental, pero que sería importante incluir en este tipo de producciones.

4.1. Discusión de la metodología diseñada

La metodología para analizar el documental de ciencia *Particle Fever* es inédita, pues fue diseñada a partir de la tripe mimesis de Ricoeur (2004) para el análisis de textos, las tres dimensiones de Amador (2017) para el análisis de la imagen, y complementada con elementos de análisis filmico y documental mencionados por Casetti y di Chio (2016), y León (2010). La combinación de los anteriores dio como resultado una metodología nueva que se divide en nueve niveles, que fueron descritos detalladamente en el capítulo 2. En tanto que consiste en una metodología inédita, en esta sección discuto los problemas enfrentados a lo largo de su diseño, y los presentados al llevar a cabo el análisis. Lo anterior con la finalidad de mejorar y ajustar la metodología, pero también de hacer recomendaciones para aplicar la misma a otras producciones similares.

4.1.1. Problemas enfrentados al diseñar la metodología

El análisis implicaba encontrar una metodología que se ajustara a *Particle Fever* en tanto documental que aborda un tema científico. Es decir, requería una metodología de análisis no sólo de un producto filmico, sino específicamente de un documental y, aún más concreto, de un documental de ciencia. Como ya se ha comentado, no existe una metodología específica para analizar documentales de ciencia que contemple tanto los aspectos formales, característicos de las producciones audiovisuales, como los elementos circundantes a la divulgación de ciencia y, específicamente, las principales características del trabajo científico (como la provisionalidad del conocimiento; la diversidad de métodos, la observación, inducción y creatividad; la diferencia entre hipótesis, leyes y teorías; el uso de los modelos científicos; el contexto social y la subjetividad; el trabajo en equipo; y la diferencia entre ciencia y tecnología). En un primer momento las aportaciones de León (2010) sobre audiovisuales de divulgación científica (identificación de elementos como la representación de la ciencia; las técnicas narrativas, dramáticas y argumentativas; la identificación de elementos de conflicto y *suspense*; la importancia de la narración y su resolución, entre otras) saltaron a la vista. Y aunque este autor

considera aspectos formales y de divulgación de ciencia, no profundiza en los elementos específicos de la filosofía de la ciencia recién mencionados (provisionalidad del conocimiento científico, diversidad de métodos, uso de modelos, trabajo en equipo, etc.). Por otro lado, la variedad de elementos técnicos, narrativos, simbólicos, divulgativos, filosóficos y científicos, entre otros, que conforman un documental como *Particle Fever* hacía necesario un modelo que diera orden y sentido a esta diversidad, que distinguiera los elementos formales de los simbólicos y los narrativos.

Las propuestas de León (2010) ayudaron a identificar elementos importantes particulares de las producciones de divulgación de ciencia; en primer lugar las técnicas narrativas, dramáticas y argumentativas. De igual forma, León señala la importancia de reparar en los momentos de conflicto, *suspense* y resolución de la narrativa; y recuerda la importancia de revisar la manera en que se representa la ciencia en estas producciones. Sin lugar a dudas los elementos que aporta son indispensable, pero aún insuficientes para identificar las principales características del trabajo científico. Así, en tanto que no había antecedentes metodológicos para analizar documentales, o producciones audiovisuales de divulgación de ciencia, que reparara en aspectos tan específicos como los formales, los simbólicos, los narrativos y además los divulgativos y filosóficos, el diseño de un modelo propio resultó necesario.

La variedad de elementos incluidos en el documental requería de un instrumento de análisis lo suficientemente flexible, pero también sólido; la hermenéutica resultó la herramienta idónea para analizar e interpretar un documental de ciencia. Específicamente se eligió una perspectiva hermenéutica ontológica cuyo origen se encuentra en las propuestas de Dilthey, Heidegger, Gadamer y Ricoeur. Para Dilthey la interpretación es una característica esencial de la presencia del ser humano en el mundo; asimismo, para Heidegger la existencia misma es interpretación y advierte que esta implica que el intérprete proyecte sus categorías de pensamiento sobre lo interpretado, pues se encuentra situado en una temporalidad específica. Por su parte, Gadamer considera que quien pretende comprender proyecta siempre un sentido y posee prejuicios, es decir juicios que se forman antes de llevar a cabo una validación definitiva, ya sea positiva o negativa; además, considera necesario reconocer que hay una diferencia insalvable entre intérprete y autor dada por la distancia histórica. En el mismo tono, Ricoeur considera que la condición ontológica del ser humano es vivir en el tiempo, pues se hace consciente de la temporalidad por medio de la narración; este autor propone un análisis de textos narrativos en tres momentos: el primero se concentra en el autor, el segundo en la obra y el tercero en el intérprete. A partir de lo anterior, Ricoeur plantea la triple mimesis para analizar textos literarios e históricos.

A pesar de su consistencia, la propuesta de triple mimesis de Ricoeur no resultaba suficiente para analizar una producción audiovisual; así que, para añadir elementos visuales a lo planteado por Ricoeur, se eligió la proposición de Amador (2017) para el análisis de obras de arte, que considera componentes formales visuales, simbólicos y narrativos que mantienen mucha similitud con los elementos contenidos en un audiovisual. Sin embargo, esta propuesta aún no era

lo suficientemente específica, pues faltaban categorías que estudiaran elementos particulares de la cinematografía, y de las producciones de divulgación de ciencia específicamente. Así fue como se introdujeron las categorías analíticas propuestas por Casetti y di Chio (2016) para filmes, y finalmente se agregó el conjunto de elementos propuestos por León (2010) para audiovisuales de divulgación de ciencia. Por último, se integró la lista de características importantes del trabajo científico de Martínez-Rodríguez (2016).

La combinación de estas fuentes se llevó a cabo en el siguiente orden: la triple mimesis de Ricoeur y la triada de elementos (formales, simbólicos y narrativos) propuestos por Amador se erigieron como primer andamio; se hizo una equivalencia de algunos de los elementos formales visuales a audiovisuales, identificados por Casetti y di Chio (como iluminación y color, cualidades materiales y composición fotográfica); posteriormente se agregaron factores importantes considerados por León (como las técnicas narrativas, dramáticas y argumentativas, así como elementos de conflicto, *suspense*, resolución, la representación de la ciencia, entre otros). Por último, se agregó un componente ausente tanto en las propuestas metodológicas antes mencionadas, como en propuestas analíticas de audiovisuales de divulgación de ciencia: las características importantes del trabajo científico (Martínez-Rodríguez, 2016) y la descripción de la función social de documental de ciencia.

El planteamiento analítico de Casetti y di Chio fue elegido por ser minucioso y variado, pues propone descomponer el filme en sus elementos constitutivos, dependiendo de la finalidad del análisis deseado. Estos autores consideran al filme como un lugar de representación, como una unidad comunicativa y como un texto susceptible de ser interpretado; es decir, su postura es cercana a la perspectiva hermenéutica filosófica de Ricoeur. Además, al igual que Gadamer, Casetti y di Chio consideran que el analista tiene concepciones previas, que debe explicitar para saber qué pretende con el análisis y así determinar las categorías más idóneas para estudiar el filme. Casetti y di Chio proponen, como primer paso del análisis, identificar los elementos básicos que aparecen en la pantalla (figuras, luz, espacios, etc.); enseguida sugieren conectar los elementos y distinguir los conjuntos a donde pertenecen.

La estrategia propuesta por Casetti y di Chio se llevó a cabo identificando, en primera instancia, los elementos visuales y sonoros del documental, y su relación con la composición, la movilidad y el montaje. Algunos de estos elementos eran similares a las categorías analíticas de Amador (2017); por ejemplo, elementos formales como color, luminosidad, cualidades materiales o composición. Aunado a lo anterior, la dimensión simbólica y narrativa también eran fácilmente equiparables. Los elementos sonoros (monólogos y diálogos, sonido directo y efectos sonoros, y banda sonora musical), que no son contemplados por Amador porque su propuesta analítica es para obras pictóricas, se retomaron de Casetti y di Chio. A partir del cruce entre las propuesta de Ricoeur (2004), Amador (2017), Casetti y di Chio (2016) y Martínez-Rodríguez (2016) se constituyeron los nueve niveles y su contenido, en la siguiente página se presenta un cuadro:

NIVEL FORMAL		
Formal analítico-descriptivo	Formal semiótico	Formal histórico-cultural
<p>Identificación y descripción de signos:</p> <p>Visuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Personajes, objetos y lugares - Iluminación y color - Cualidades materiales - Animaciones y gráficos <p>Sonoros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Monólogos y diálogos - Sonido directo y efectos sonoros - Banda sonora musical 	<p>Descripción de las relaciones que establecen los signos (visuales y sonoros) entre sí:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Composición fotográfica - Movilidad - Montaje 	<p>Reconocimiento y descripción del estilo: la manera en que signos visuales y sonoros se emplean de forma determinada en una cultura y época particular.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Técnicas narrativas - Técnicas dramáticas - Técnicas argumentativas
NIVEL SIMBÓLICO		
Simbólico analítico-descriptivo	Simbólico semántico	Simbólico histórico-cultural
<p>Identificación y descripción de símbolos en los signos visuales y sonoros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Personajes - Objetos - Lugares - Iluminación, color y cualidades materiales - Animaciones y gráficos - Diálogos, efectos sonoros y banda sonora musical 	<p>Descripción de la relación de los signos (visuales y sonoros) con sus referentes reales o imaginarios.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Composición fotográfica - Movilidad - Montaje 	<p>Significación específica de los símbolos en un momento histórico dado, en una sociedad determinada:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis de símbolos (identificados en el documental) en el contexto del relato mítico.
NIVEL NARRATIVO		
Narrativo analítico-descriptivo	Narrativo semántico	Narrativo histórico-cultural
<p>Descripción de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Personajes y acciones (y sus relaciones jerárquicas) - Situaciones de conflicto, <i>suspense</i> y resolución - Descripción de la representación de la ciencia 	<p>Descripción de la manera en que las unidades mínimas de significación, visual y sonora, se agrupan en motivos, y estos en temas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Síntesis, descripción y análisis de la narración del documental 	<p>Descripción de las prácticas del equipo de producción.</p> <p>Contexto histórico y cultural de producción y exhibición.</p> <p>Características importantes del trabajo científico en el documental.</p> <p>Descripción de la función social del documental de divulgación.</p>

A lo largo de los cuatro años que duró la investigación este cuadro tuvo al menos cuatro versiones en cuanto a contenido y nomenclatura; poco a poco se fueron agregando componentes, o se cambiaron de sitio según las necesidades específicas del análisis conforme se realizó, o se modificaron los términos empleados (analítico-descriptivo, semiótico, semántico e histórico-cultural) para que transmitieran de la mejor manera posible la intención analítica.

A partir del diseño de nueve niveles del documental se acomodaron los componentes más evidentes, principalmente los formales, en los niveles correspondientes. Sin embargo, se debía encontrar cabida para elementos no tan obvios, por ejemplo los mencionados por León (2010) como conflicto, *suspense*, resolución de la narración, representación de la ciencia, y técnicas narrativas, dramáticas y argumentativas. Asimismo, se debía considerar otros elementos como las animaciones y gráficos (de uso frecuente en documentales de ciencia). Finalmente, también se incluyeron las características importantes del trabajo científico (Martínez-Rodríguez, 2016), así como la función social del documental de divulgación.

La propuesta de Casetti y di Chio (2016) de los procedimientos previos para comenzar un análisis también fue de gran ayuda para saber por dónde, y cómo abordar este. En primer lugar se realizó una segmentación del documental, es decir, se descompuso el documental en 10 episodios y 25 secuencias. Posteriormente se realizó un procedimiento que Casetti y di Chio denominan estratificación, que consiste en examinar los estratos del filme de manera transversal para identificar elementos homogéneos que aparecen repetitivamente, como el estilo (iluminación, movimientos de cámara, etc.), el tema (la reiterada aparición de lugares, situaciones o personajes) o la narrativa (repetición de acciones por parte de protagonista).

En el caso de *Particle Fever* se identificaron, por ejemplo, intervenciones de los investigadores, animaciones, referencias visuales a aparatos tecnológicos (como el experimento ATLAS o los imanes superconductores, elementos clasificados por Silverstone como imágenes tecnomórficas y semiomórficas), entre otros. A partir de lo anterior se construyó un catálogo de los componentes identificados en la segmentación y la estratificación, se ordenaron y colocaron en alguno de los nueve niveles ya establecidos. En la siguiente página se presenta la versión modificada del cuadro de nueve niveles integrando lo recién comentado, se destacan las modificaciones y agregados en negritas y con asterisco:

NIVEL FORMAL		
Formal analítico-descriptivo	Formal semiótico	Formal histórico-cultural
<p>Identificación y descripción de signos:</p> <p>Visuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Personajes*, objetos y lugares - Iluminación y color - Cualidades materiales - Animaciones y gráficos* <p>Sonoros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Monólogos y diálogos - Sonido directo y efectos sonoros - Banda sonora musical 	<p>Descripción de las relaciones que establecen los signos (visuales y sonoros) entre sí:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Composición fotográfica - Movilidad - Montaje 	<p>Reconocimiento y descripción del estilo: la manera en que signos visuales y sonoros se emplean de forma determinada en una cultura y época particular.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Técnicas narrativas* - Técnicas dramáticas* - Técnicas argumentativas*
NIVEL SIMBÓLICO		
Simbólico analítico-descriptivo	Simbólico semántico	Simbólico histórico-cultural
<p>Identificación y descripción de símbolos en los signos visuales y sonoros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Personajes* - Objetos - Lugares - Iluminación, color y cualidades materiales - Animaciones y gráficos* - Diálogos, efectos sonoros y banda sonora musical 	<p>Descripción de la relación de los signos (visuales y sonoros) con sus referentes reales o imaginarios.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Composición fotográfica - Movilidad - Montaje 	<p>Significación específica de los símbolos en un momento histórico dado, en una sociedad determinada:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis de símbolos (identificados en el documental) en el contexto del relato mítico.
NIVEL NARRATIVO		
Narrativo analítico-descriptivo	Narrativo semántico	Narrativo histórico-cultural
<p>Descripción de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Personajes y acciones (y sus relaciones jerárquicas) - Situaciones de conflicto, suspense y resolución* - Descripción de la representación de la ciencia* 	<p>Descripción de la manera en que las unidades mínimas de significación, visual y sonora, se agrupan en motivos, y estos en temas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Síntesis, descripción y análisis de la narración del documental 	<p>Descripción de las prácticas del equipo de producción*</p> <p>Contexto histórico y cultural de producción y exhibición.</p> <p>Características importantes del trabajo científico en el documental*</p> <p>Descripción de la función social del documental de divulgación.</p>

Después de llevar a cabo los procedimientos para comenzar el análisis del documental (delimitación, finalidad, segmentación, estratificación, catalogación, ordenación, jerarquización y modelación) parecía que los aspectos formales estaban tan mezclados que era difícil separarlos sin desarticular, o sin que hubiera rasgos narrativos en lo formal, o rasgos formales en lo narrativo. Ciertamente la obra está configurada de tal forma que sus componentes se integren y conformen un todo que parezca indisoluble, al final ese es el propósito del montaje y la edición, que todo quede amalgamado de forma tal que fluya y sea presentado al espectador como una pieza unificada. Por esto es que parecía tan difícil separar los elementos constitutivos.

En este sentido, la propuesta analítica a tres dimensiones de Amador (2017) fue de gran ayuda para discernir entre los elementos formales y los de contenido simbólico y narrativo. Amador es muy específico al detallar la dimensión formal, constituida por forma, color, luminosidad y cualidades materiales, que organizados conforman la composición. Específicamente en la metodología diseñada, conformada por nueve niveles de análisis, los elementos formales se subdividen en tres: analítico-descriptivos, semióticos e histórico-culturales.

En el nivel formal analítico-descriptivo primero se identificaron y describieron signos visuales (personajes, objetos y lugares; iluminación y color; cualidades materiales; animaciones y gráficos) y sonoros (monólogos y diálogos; sonido directo y efectos sonoros; banda sonora musical). Posteriormente, en el nivel formal semiótico se describió la relación que establecen los signos visuales y sonoros entre sí (y que remiten a la composición fotográfica, la movilidad y el montaje). Por último, en el nivel formal histórico-cultural se reconoce y describe el estilo, es decir la manera en que los signos visuales y sonoros en conjunto (la composición fotográfica, la movilidad y el montaje) se emplean de una forma determinada en una cultura y época particular, lo anterior se lleva a cabo por medio de las técnicas narrativas, dramáticas y argumentativas desplegadas en el documental.

Una vez identificados los elementos formales, fue un poco más sencillo detallar los componentes simbólicos insertos en la narración, esto con la finalidad de profundizar en el análisis y la adecuada interpretación del contenido. Así, para el nivel simbólico también se establecieron tres niveles: analítico-descriptivo, semántico e histórico-cultural. El primer nivel simbólico consistió en identificar y describir los símbolos en personajes, objetos, lugares, iluminación, color, cualidades materiales, animaciones y gráficos, diálogos, efectos sonoros y banda sonora musical. En el nivel simbólico semántico se describió la relación de los signos visuales y sonoros con sus referentes reales o imaginarios. Finalmente, en el nivel simbólico histórico-cultural se describió la significación específica de los símbolos en un momento histórico dado y en una sociedad determinada, para ello se realizó el análisis de los símbolos identificados en el documental, en el contexto del relato mítico al que originalmente pertenecen.

Después de reconocer los elementos formales y los simbólicos, finalmente se registraron los componentes narrativos y se ubicaron en alguna de las subdivisiones analítico descriptiva,

semántica e histórico-cultural. En el nivel narrativo analítico-descriptivo se identificaron y describieron los personajes, sus acciones y relaciones jerárquicas; las situaciones de conflicto, *suspense* y resolución de la narración; así como la manera en que la ciencia se representa en el documental. Por otro lado, en el nivel narrativo semántico se realizó una descripción de la manera en que las unidades mínimas de significación visual y sonora se agrupan en motivos, y estos a su vez en temas. Por último, en el nivel narrativo histórico-cultural, se sitúa histórica y culturalmente al documental y su(s) autor(es). Este nivel tiene cuatro momentos analíticos: en primer lugar se realiza una descripción de las prácticas del equipo de producción (para situar histórica y culturalmente a los autores de tal obra); posteriormente se describe el contexto histórico y cultural en que se produjo y exhibió el documental. Asimismo, se lleva a cabo un análisis histórico-cultural del documental desde la perspectiva del intérprete en dos temas: por un lado se describen las características importantes del trabajo científico, y por otro se detalla la función social del documental.

La descripción realizada en este apartado constituye la versión final de la propuesta analítica, misma que se construyó a partir de las modificaciones que tuvieron lugar al momento del análisis. Es decir, fue hasta que el análisis se realizó que la metodología inicial se fue ajustando a las necesidades del documental. En tanto que el proceso mismo de análisis ayudó a modificar, o reacomodar, algunas categorías, en el siguiente apartado se abordan los problemas que se presentaron al desarrollar el análisis, cómo se resolvieron y qué partes de la metodología fueron modificadas para resarcir estos tropiezos.

4.1.2. Problemas presentados al hacer el análisis

En principio el análisis se planteó básicamente cualitativo, pues se pretendía examinar el contenido del documental, más que características técnicas de este. Sin embargo, una de las recomendaciones de Casetti y di Chio consiste en reparar en aspectos cuantitativos, por ejemplo segmentar el documental en episodios, secuencias, encuadres o imágenes, según convenga la finalidad del análisis. Asimismo proponen una estratificación para identificar elementos que se reiteran a lo largo del documental; aunque los autores no describen estos (pues depende de la obra a analizar), en la propuesta analítica de esta investigación se consideran los siguientes: estilo, tema, modo de presentar el tema (expositivo, de observación, interactivo y reflexivo), narrativa, personajes, animaciones y gráficos.

Se segmentó únicamente en episodios (partición amplia de un filme constituido por varias historias breves que, en conjunto, conforman la narrativa principal) y secuencias (porciones de historias más breves que los episodios), porque se consideró que la última conformaba la unidad mínima en que se desarrolla una narrativa concreta con elementos suficientemente analizables. Así, el documental se fragmentó en 10 episodios y 25 secuencias, que fueron medidos y marcados en tiempo y extensión. Cuando esta medición se llevó a cabo parecía que el proceso de

segmentación era cuantitativo; sin embargo, conforme los episodios y secuencias se examinaron se tornaron cualitativos.

En el caso de la estratificación, la descripción de personajes implicó separar las intervenciones de cada protagonista y registrar el número de estas, así como contar quién de ellos aparecía el mayor número de ocasiones y por mayor tiempo. Lo anterior con la finalidad de intentar discernir la intención de esto, distinguir las características del contenido de las intervenciones y categorizar el rol del personaje. Esta parte cualitativa también sirvió para saber cuánto tiempo, del total del documental, ocupaban las intervenciones.

Por otro lado, la identificación y descripción de animaciones y gráficos, desarrollado en el nivel formal analítico-descriptivo, implicó distinguir las unas de los otros, contabilizarlos en número de apariciones y tiempo de duración, para conocer qué porcentaje de la extensión del documental estaba conformado por animaciones y gráficos. Esto era importante para saber si el empleo de tales herramientas estaba justificado o se empleaban indiscriminadamente. También era importante identificar en qué momentos se insertaban los mismos a lo largo de la narración.

En el proceso de identificación y cuantificación de estos elementos hubo temor de que lo cuantitativo no se justificara, o no ayudara a identificar elementos cualitativos. Sin embargo, conforme avanzó el análisis, se observó que lo cuantitativo era necesario para conocer características que revelarían datos interesantes sobre lo cualitativo. Por ejemplo, se pensaba que Dunford era la investigadora que más aparecía a cuadro; sin embargo, después de sumar el tiempo de sus intervenciones, se concluyó que Kaplan ocupa más tiempo a cuadro, y en un mayor número de ocasiones. Asimismo, la contabilización de tiempos de aparición sirvió para distinguir a los personajes protagónicos de los secundarios. Fue mientras se llevaba a cabo el conteo de tiempo y apariciones de los entrevistados, que se tuvo el temor de que el análisis fuera más cuantitativo que cualitativo; sin embargo, una vez que los datos cuantitativos se analizaron cobraron un cariz cualitativo y el temor se disipó.

La repetición de elementos fue otra situación complicada que se presentó en el análisis. Por ejemplo, personajes, animaciones y gráficos, y banda sonora musical se describen en el nivel formal analítico-descriptivo pero también en el simbólico analítico-descriptivo. Asimismo, el estilo aparece tanto en la estratificación como en el nivel formal histórico-cultural. Lo mismo ocurre con las técnicas narrativas, dramáticas y argumentativas, que se detallan en los procedimientos previos al análisis y en el nivel formal histórico-cultural. A continuación se mencionan los momentos en que estos elementos se repiten y la diferencia que hay en cada mención, dependiendo del nivel analítico donde son descritos.

La primera vez que aparecen los personajes es en la estratificación (páginas 67 a 72), donde únicamente se mencionan nombres, número de intervenciones, tiempo total de estas, resumen del tipo de aportaciones, y algunas características de su personalidad. Asimismo, se remite al lector a

las páginas 232 a 240 de los anexos, donde se describen detalladamente los minutos en que aparece cada uno de los protagonistas a cuadro, así como la duración de sus intervenciones. La finalidad de este conteo fue registrar el número de participaciones de cada uno para saber quién aparecía más veces (y tratar de discernir por qué fue así). También interesaba distinguir las características de las intervenciones para identificar su rol, y tener una idea general del tipo de información que aportan las intervenciones en el documental. El análisis de los personajes aparece nuevamente en el nivel formal analítico-descriptivo, dentro de los elementos formales visuales (página 74). En esta ocasión se mencionan nombres, momentos de aparición y breve descripción de las personas que aparecen a lo largo del documental. Por supuesto aparecen los protagonistas de la historia, pero también otros personajes secundarios, o incidentales, y antagonicos. Posteriormente, en el nivel simbólico analítico-descriptivo (páginas 88 a 93), los personajes son mencionados una vez más con la finalidad de identificar símbolos en estos, para ello se describe su formación, diferencias y similitudes, características físicas y apariencia. También se dice quiénes de los protagonistas caen en el estereotipo de científico comúnmente difundido por los medios. Por último, en el nivel narrativo analítico-descriptivo se detallan personajes protagónicos, antagonicos y secundarios (páginas 112-118), y se ahonda en su formación y cargo (cuando así corresponde), las acciones que realizan, las relaciones jerárquicas que se establecen entre ellos, los elementos característicos de su participación en el documental, los conceptos o ideas científicas que explican, y el rol particular según la clasificación de Silverstone (1984).

Un segundo componente que se repite en más de un nivel de análisis es el estilo. Primero se menciona en el proceso de estratificación previo al análisis (página 67-71), que consiste en una descripción somera de los rasgos generales, pues se menciona el tipo de iluminación, el tipo de encuadres, los objetos y lugares retratados, y los movimientos de cámara principalmente. Posteriormente se hace una descripción mucho más detallada del estilo en el nivel formal histórico-cultural (páginas 81 y 82), donde se describe a *Particle Fever* como un documental en el que predomina el modo de representación participativo de acuerdo con la clasificación de Nichols (2013). Una vez más se abunda sobre el estilo en la descripción de las técnicas narrativas¹¹⁷, dramáticas¹¹⁸ y argumentativas¹¹⁹ presentes en el documental. Finalmente, algunas de las características descritas en estas técnicas, ayudan a conformar una idea del estilo del documental, y sirven para encontrar similitudes y diferencias con otras narrativas de ciencia (audiovisuales o bibliográficas).

¹¹⁷ Estas se encuentran conformadas por los siguientes elementos: simplificación de contenido por medio de eliminación de términos científicos complejos, supresión de controversias y reducción de dimensiones (León, 1999); uso de herramientas de cámara y edición; empleo de animaciones y gráficos para la explicación de temas complejos; el modo narrativo de acuerdo a la clasificación de van Dijck, 2006; y los roles de los investigadores según lo propuesto por Silverstone (1984).

¹¹⁸ Los elementos que la conforman son: construcción del relato, consideración de los seres reales como personajes y elementos de conflicto y *suspense*.

¹¹⁹ Refiere a modos retóricos que pretenden persuadir al espectador, tales como la afinidad, el modo epidíctico, la reputación y competencia de los protagonistas y el empleo del símil para ayudar a la comprensión de ideas complejas.

El tercer elemento que aparece en más de un nivel consiste en las animaciones y los gráficos. Primero en el nivel formal analítico-descriptivo (página 76) se informa cuántas animaciones y gráficos aparecen, así como su duración y el porcentaje que representa en el tiempo total del documental, también se informa en qué consiste cada uno; en este mismo nivel se remite al lector al anexo (páginas 247 a 251) donde se detalla el contenido de los mismos. Posteriormente, en el nivel simbólico analítico-descriptivo (páginas 99 y 100), las animaciones y gráficos vuelven a aparecer para detallar el simbolismo identificado en estos.

Las técnicas narrativas, dramáticas y argumentativas constituyen el cuarto conjunto de elementos que se mencionan más de una ocasión en el análisis. Primero se mencionan dentro de los procedimientos necesarios para comenzar el análisis, específicamente en el apartado de estratificación (página 69), donde únicamente se establece que estas técnicas son constitutivas de la narrativa del documental. Posteriormente, en el nivel formal histórico-cultural (páginas 82 a 88), se describen detalladamente. En cuanto a las técnicas narrativas, se menciona la simplificación de contenido por medio de la eliminación de términos científicos complejos, la supresión de controversias y la reducción de dimensiones; así como el empleo de herramientas de cámara y edición (como encuadres, angulaciones, movimientos físicos y aparentes, cortes, disolvencias, entre otros). Respecto a las técnicas dramáticas se encuentran la construcción del relato, la consideración de los seres reales como personajes y los elementos de conflicto y *suspense*. Por último, sobre las técnicas argumentativas se mencionan los modos retóricos de persuadir al espectador, entre los que se encuentran la afinidad, el modo epidíctico y la reputación o competencia.

Por otro lado, la banda sonora musical es un quinto componente que se detalla en dos niveles de análisis. Primero se menciona en el nivel formal analítico-descriptivo, dentro de los elementos formales sonoros (páginas 77 y 78); en este apartado únicamente se describen los momentos más significativos del documental en que la banda sonora tiene presencia, así como la persona encargada de la musicalización y el compositor del tema principal. Posteriormente se detalla un poco más en el nivel simbólico analítico-descriptivo (páginas 100 y 101) al momento de explicitar el simbolismo en diálogos, efectos sonoros y banda sonora musical.

Como se puede observar a partir del recuento anterior, aunque existen elementos que se repiten en varios niveles de análisis, la descripción varía según los objetivos que pretende cada categoría. El caso contrario a los elementos repetidos, es el de aquellos que se quedaron fuera del análisis, principalmente porque pertenecen al ámbito de los Estudios Filosóficos y Sociales de la Ciencia y la Tecnología, entre los que se encuentran: la representación femenina en el documental (ciencia feminista), aspectos históricos, políticos y sociales alrededor del CERN, construcción del dato científico, ciencia del centro y de primer mundo en oposición a la ciencia periférica, entre otros. La descripción y análisis de estos temas propios de los EFSCyT o STS habría enriquecido el análisis, sin embargo implicaba ahondar y extender en demasía la reflexión, habría requerido la lectura de autores de corrientes sociológicas y políticas para comprender a cabalidad, y explicar

adecuadamente estos fenómenos, se corría el riesgo de alejarse de los objetivos de esta propuesta analítica, que es proporcionar un guía sintética aplicable a otros audiovisuales de divulgación científica. El análisis exhaustivo de las aristas no abordadas se puede realizar en algún trabajo académico adyacente, pues sin lugar a dudas constituye otra de las vetas en *Particle Fever*.

4.1.3. Recomendaciones para la aplicación de la metodología

La metodología diseñada y aplicada demostró ser efectiva para estudiar el documental *Particle Fever* porque se identificaron, analizaron e interpretaron sistemáticamente elementos formales, simbólicos, narrativos, divulgativos y concernientes a la filosofía de la ciencia (como la función social o las características importantes del trabajo científico) de esta producción. Sin embargo, es preciso recordar que el modelo no fue apriorístico; por lo tanto, si bien podría aplicarse a otros documentales de ciencia, no se garantiza que cumpla con las expectativas analíticas a cabalidad, ya que la metodología depende de los objetivos del análisis. Uno de los primeros pasos previos al inicio del análisis consistió precisamente en explicitar los objetivos que se pretenden conseguir, pues estos guiarán al analista a lo largo del diseño metodológico y su aplicación. Por ejemplo, otros documentales o audiovisuales de ciencias sociales podrían requerir categorías que no fueron consideradas o explicitadas en esta metodología.

Se recomienda tomar en cuenta las categorías de análisis aquí descritas y, sobre todo, la misma tradición hermenéutica ontológica en la cual descansa esta propuesta, ya que recuerda la importancia de explicitar el horizonte desde el cual se sitúa el intérprete, así como las categorías analíticas que le interesan. Sirva pues esta metodología como mera guía para establecer nuevas categorías *ad hoc* a las necesidades de la producción a analizar, así como los objetivos a alcanzar, y el horizonte histórico cultural del intérprete.

Por otro lado, una de las principales recomendaciones para aplicar esta metodología es, de acuerdo a las recomendaciones de Amador, siempre comenzar el análisis partiendo de la obra (que en Ricoeur se encuentra en mimesis II), y que en la propuesta a nueve niveles constituyen las dos primeras columnas conformadas por los niveles: formal analítico-descriptivo, formal semiótico, simbólico analítico-descriptivo, simbólico semántico, narrativo analítico-descriptivo y narrativo semántico. Posteriormente, el análisis se concentra en la tercera columna, constituida por los niveles formal, simbólico y narrativo histórico-cultural. Aunque casi todos remiten al mundo del autor (que en Ricoeur sería mimesis I), cabe aclarar que las últimas dos partes del nivel narrativo histórico-cultural se refieren al mundo del intérprete (mimesis III en Ricoeur), pues consiste en la interpretación de la persona que lleva a cabo el análisis a partir de su particular horizonte histórico-cultural. Previo al análisis se recomienda describir los procedimientos necesarios para comenzar el análisis (delimitación, finalidad, metodología, segmentación, estratificación, catalogación, jerarquización y modelación), pues esto ayudará al intérprete a hacer más aprehensible su objeto de estudio, así como distinguir los elementos que desea analizar, siempre con base en sus objetivos. Una vez discutidos los pormenores sobre el diseño y aplicación de la metodología

empleada en esta investigación, en la siguiente sección se discuten los resultados del producto analizado.

4.2. *Discusión del producto analizado*

El análisis hermenéutico a nueve niveles de *Particle Fever* permitió contemplar las dimensiones formal, simbólica y narrativa de este documental, así como algunos de los elementos destacables del trabajo científico. A partir de esta minuciosa disección se observan importantes aportaciones que este documental hace a los documentales de ciencia en general, aunque también exhibe algunos elementos que podrían mejorarse en otras producciones de divulgación de ciencia. Finalmente, a partir de lo anterior, se presentan algunas sugerencias para estas producciones.

4.2.1. *Aportaciones de Particle Fever a los documentales de divulgación de ciencia*

Particle Fever tiene grandes aportaciones formales y de contenido como uso acertado de técnicas narrativas, dramáticas y argumentativas; conflicto y *suspense* bien planteados; montaje dinámico con una banda sonora que contrapuntea acertadamente lo narrado en pantalla; uso adecuado (no excesivo) de animaciones y gráficos; ausencia del estereotipo del científico de bata, serio y sin sentimientos. En los siguientes párrafos se describen a detalle los elementos anteriores.

Particle Fever es un documental en modo de representación predominantemente participativo (según la clasificación de Nichols, 2013), esto quiere decir que los protagonistas son mostrados en un entorno de su vida cotidiana, en este caso particular, en su lugar de trabajo. El equipo de producción retrata a este grupo de científicos y presenta su perspectiva mediante monólogos que reflejan sus preocupaciones, bagaje cultural y académico, en resumen su sentir y pensar sobre el gran experimento en que participan directa o indirectamente. Este modo se denomina participativo porque brinda al espectador la sensación de estar en el lugar, y muestra algunas situaciones que de otra manera no podrían atestiguar, pues retrata una comunidad hermética que sólo permite acceso a especialistas en física. Por otro lado, las características de este modo de representación del documental también son propias del *cinéma-vérité*, puesto que el documentalista y su equipo presentan al espectador las diversas acciones que suceden cuando las personas interactúan en presencia de una cámara (Nichols, 2013, p. 207, 209 y 212).

El documental emplea la simplificación de contenido (León, 1999, pp. 101 y 109), es decir la eliminación de términos científicos complejos, la supresión de controversias y la reducción de dimensiones¹²⁰, que más que ser propias de una típica producción de divulgación científica, responde a la sensibilidad filmica, trayectoria profesional y académica de Levinson. En otro orden de ideas, el uso de las herramientas de cámara (emplazamientos, encuadres, angulaciones, movimientos físicos y aparentes), así como de montaje y edición (cortes, transiciones,

¹²⁰ Más información sobre los elementos implicados en la simplificación de contenido se encuentra en la p. 40 de esta investigación.

orquestración de las imágenes con los sonidos y configuración de la banda sonora) son producto de la articulación entre Levinson, Raschke-Robinson y Held, Murch y Miller, principalmente. Todos ellos inexpertos en la producción de documentales de ciencia, pero profesionales con amplísima trayectoria en su área de *expertise*.

Por otro lado, el empleo de las animaciones y los gráficos animados no es excesivo, únicamente se aprovechan para aclarar conceptos o ideas complejas; o para reducir dimensiones, como la animación 11, donde se muestra un modelo de la circunferencia del LHC con algunos de los experimentos más importantes y el tránsito de los datos desde cada uno de los experimentos hasta los servidores del CERN y de ahí al resto del mundo. El tiempo de duración de las animaciones tampoco es excesivo, apenas un 12% del total del documental. En otro orden de ideas, *Particle Fever* presenta un modo narrativo expositivo con estilo visual de efecto realista, de acuerdo con la clasificación de van Dijck (2006), pues apela al espectador por medio de la presencia, y la voz *off*, de varios científicos expertos en física de partículas que guían al espectador. Esta característica, como las animaciones y gráficos empleados con medida y sin exceso, contribuyen al dinamismo del documental.

Desde otra perspectiva, algunos de los protagonistas de *Particle Fever* representan roles que corresponden con la clasificación propuesta por Silverstone (1984). Kaplan podría identificarse con el rol de científico como intérprete, pues aunque se muestra en un contexto significativo para él, lo descifra a la audiencia. Gianotti y Dunford podrían representar el rol de científicas como demostradoras, en tanto que presentan resultados y datos a sus colegas. Asimismo, Dunford encarnaría el rol de científica como obrera, y Gianotti el de líder (que sin embargo no está contemplado por Silverstone). Arkani-Hamed y Dimopoulos podrían identificarse con el rol de científicos como pensadores, porque aparecen escribiendo ecuaciones, es decir, produciendo conocimiento.

Respecto a las técnicas dramáticas (que apelan a los valores emocionales del público y le ayudan a asimilar la información para hacerla más comprensible), *Particle Fever* hace un uso acertado de estas. La construcción dramática del relato emplea como *leitmotif* la búsqueda de la verdad. Aunado a lo anterior, hay varios momentos de conflicto y *suspense* que ayudan a que la trama avance y sea entretenida. Uno de los momentos de principal conflicto es la fuga de helio de los imanes superconductores. Y uno de los momentos de gran *suspense* es la presentación de la segunda ronda de datos que revela la masa de la partícula bosón de Higgs, a partir de la cual se deduce su detección.

Una de las técnicas argumentativas empleada en *Particle Fever* es la afinidad, pues los protagonistas son personajes de diferentes culturas, nacionalidades, edades y personalidades, lo que ayuda a que el público se sienta afín a alguno de ellos (lo que comúnmente se conoce como identificarse con el personaje). Esta afinidad es uno de los elementos retóricos que ayuda a seducir al espectador. Otro elemento retórico sobresaliente es el epidíctico, pues el relato trata de

convencer al espectador de que el experimento, y el dinero invertido en él, alcanzó uno de los objetivos principales: detectar la partícula bosón de Higgs. Asimismo, desde el inicio el discurso de Kaplan apela a las virtudes de la ciencia básica. Otro elemento de argumentación es la reputación y competencia de los protagonistas, tanto sus declaraciones (lenguaje y voz), como su presencia (vestimenta, postura, lenguaje corporal), transmiten credibilidad y confianza; aunque ya de entrada su adhesión a instituciones científicas prestigiadas (como el CERN, la National Science Foundation, o universidades como John Hopkins, Stanford o Princeton) les dota de autoridad y da cuenta de su competencia en el tema abordado. Finalmente, una de las figuras retóricas afectivas mayormente empleada en este documental es el símil, imagen sencilla y cotidiana que ayuda a explicar al espectador una idea compleja mediante una experiencia de su contexto cotidiano, por ejemplo cuando Dunford explica en qué consiste el experimento (al colisionar los haces de protón) por medio de la analogía del choque de dos autos de juguete.

Particle Fever fue realizado por un equipo de producción sin experiencia específica en divulgación de ciencia, pero con una vasta experiencia filmográfica, y que consultó a realizadores de documentales de ciencia como Carole Rifkind, una de las directoras del documental *Naturally Obsessed: the making of a scientist* (2009). Los fotógrafos contaban con una amplia destreza en cine documental, mientras que el musicalizador había desarrollado numerosas composiciones para museos de ciencia y planetarios; el editor tenía una destacada trayectoria en películas ganadoras de premios de la academia; y el director había estudiado un doctorado en física de partículas y conocía el mundo de la academia, al tiempo que tenía experiencia laboral en la industria cinematográfica. Tanto la experiencia cinematográfica, como la científica fueron fundamentales para reunir al equipo de producción, pero también para identificar a los investigadores que se expresarían de la mejor manera en el documental. *Particle Fever* es un documental de ciencia que no fue pensado con un propósito divulgativo; es decir, no se concentro en la ciencia como tal, sino en las personas que se dedican ella, es decir en los científicos y su ambiente laboral. A pesar de lo anterior, cuenta con las características para ser clasificado como un documental de divulgación y, lo que es más, el director y productor lo inscribieron a diversos concursos de cine científico.

En otro orden de ideas, *Particle Fever* presenta un acertado uso de los símbolos que no se enfoca únicamente en aquellos significativos para la comunidad científica, también son retomados del ámbito religioso y mitológico. La figura de Shiva Natarāja, propia del shivaísmo de Cachemira, que aparece al inicio y al final del documental, alude a la esencia cíclica del universo (origen y fin), remite dualmente a la creación y a la destrucción, a las etapas del universo y de los seres humanos. Relata un mito cosmogónico con dimensión cognoscitiva, constituido por una estructura explicativa que permite la comprensión del origen y el por qué de lo que existe, de la fundación del cosmos, y el paso del caos al orden y viceversa. Al mismo tiempo, *Particle Fever* relata el trabajo que realiza un grupo de investigadores en su búsqueda por una partícula que daría cuenta de una parte importante del origen del universo, hay en estos investigadores una necesidad no sólo de conocer el origen, sino de crear orden, clasificación y sentido de completitud. De la mano del mito cosmogónico se presenta el escatológico con un sentido de renovación del cosmos;

en el documental lo que se renueva son los planteamientos científicos que imperaron por décadas y que podrían modificarse de acuerdo a los datos más recientes producto del experimento. Otro relato mítico implícito en el documental es el prometeico, pues los investigadores buscan conocer más y llevar ese conocimiento, cultura, civilización, al resto de la humanidad.

Respecto a la musicalización, el uso de la *Sinfonía n° 9 Op. 125 en Re menor (coral)* de Beethoven denota una intención de apelar al sentido de hermandad, pues se trata de un “emotivo canto a la fraternidad universal” en cuya melodía “dominan los contrastes y el dramatismo del primer movimiento se torna vitalidad en el segundo, al que en ocasiones se ha definido con acierto como un paso de la oscuridad a la luz” (Pascual, 2008, p. 40). Este tema musicaliza el momento en que ocurre la colisión de los haces de protón y contrapuntea la alegría de los científicos que ven el experimento funcionando adecuadamente, también señala el esfuerzo conjunto de diversas naciones (principalmente europeas), es una celebración a la fraternidad y la colaboración entre científicos principalmente europeos. Asimismo, en tanto que Beethoven se inspiró en consignas de la Ilustración, su uso en el documental apela a la razón, pero también contrasta con los elementos Romanticistas y el momento emotivo en que se inserta al documental.

Los elementos descritos destacan en gran parte gracias al trabajo de edición de Murch, quien aporta el ritmo dinámico que hace del relato ágil e interesante. Asimismo, los encuadres y la habilidad de los fotógrafos para captar momentos clave, ayuda a conocer el interior de una comunidad hermética. El montaje y la fotografía son grandes aportaciones al ritmo, además de brindar una sensación de cercanía a la comunidad retratada.

Aunado a los elementos formales, narrativos y simbólicos relatados en párrafos anteriores, *Particle Fever* presenta a los investigadores no sólo en su lugar de trabajo, también situaciones cotidianas y les da voz para que ellos mismos relaten su trabajo y otros aspectos de su vida. Además, el documental presenta algunas características importantes del trabajo científico como el trabajo en equipo, la provisionalidad del conocimiento, el uso de modelos, o la diferencia entre ciencia y tecnología. En los siguientes párrafos se detallan aspectos sobre estas características presentes en el documental.

Particle Fever alude al carácter provisional del conocimiento científico en por lo menos nueve ocasiones. Kaplan, Arkani-Hamed y Dunford, principalmente, emiten declaraciones que reflejan que su trabajo (tanto las ideas que plantean los físicos teóricos, como los experimentos que realizan los experimentales) implica un proceso largo, discontinuo y que es realizado en conjunto con ayuda de otros colegas. Un ejemplo de lo anterior ocurre en la secuencia 4 (10’50”) cuando Arkani-Hamed asegura que desde mediados de los años 60 existe una “muy exitosa teoría de la naturaleza” denominada modelo estándar de la física de partículas. Sin embargo, advierte que este modelo tiene problemas conceptuales, y para que lo planteado por esta teoría tenga sentido debe “aparecer” la partícula Higgs (o “algo parecido”), de lo contrario los planteamientos actuales en física son incorrectos. Incluso asegura que muchas preguntas importantes han estado abiertas por

varios años, y podrían responderse con los experimentos del LHC. Esta intervención revela que las teorías planteadas por los físicos teóricos no son permanentes, tienen un carácter provisional. Incluso, los datos obtenidos a partir del experimento, serían evidencia que apoyaría, o justificaría mejor, una idea que en este caso sería tanto el modelo estándar, como la teoría de la supersimetría.

El documental también emplea modelos para explicar fenómenos de la naturaleza. En la secuencia 6 (14'45") Dunford explica en qué consiste el experimento del LHC con ayuda de una animación que muestra dos autos de juguete chocando uno contra otro, los diferentes componentes se separan, dos de las llantas giran y se convierten en un átomo con protones en su interior. Esto se transforma en un gran círculo que se superpone a un mapa de la frontera franco-suiza y que emula la circunferencia del LHC, a lo largo de la cual giran dos protones en sentido inverso, se producen colisiones en cuatro puntos que se corresponden a cada uno de los experimentos: ATLAS, LHCb, CMS y ALICE. Tanto la animación como el experimento del LHC constituyen modelos.

Otra de las aportaciones de *Particle Fever* es la inclusión del trabajo científico en equipo. Es importante porque ayuda a combatir el estereotipo del científico que trabaja en solitario, que es antisocial, y otras características que mencionan Roberts (2017) y Mitchell y McKinnon (2018), que fueron citadas en el nivel simbólico analítico-descriptivo (páginas 91 a 93). En la secuencia 14 (42'05") numerosos técnicos trabajan en el retiro de varios imanes para su arreglo. Posteriormente Lamont discute con colegas sobre el tiempo que tardará el arreglo. Una de las investigadoras asegura: “realmente no pensamos en los efectos colaterales del helio. Nadie lo hizo”, otro colega advierte “los experimentalistas no van a estar satisfechos” y Lamont hace una expresión de desagrado y resignación. Continúan discutiendo sobre el tiempo que tomará la reparación. En la secuencia 17 (58'25") de nuevo Lamont y sus colegas conversan y se alistan para reiniciar operaciones una vez que los imanes han sido reparados, el grupo de investigadores luce serio pero bromea sobre la tensión y el estrés que han vivido en los últimos días. Es sobre todo en estas escenas que se aprecian los procesos de negociación, y desencuentros, al interior de esta comunidad. Por otro lado, también se hace patente el largo curso que toma idear soluciones para un desperfecto, y la variedad de especialistas que se organizan para gestionar los arreglos. A lo largo de *Particle Fever* hay por lo menos once ocasiones en que se evidencia el trabajo en equipo en el CERN, todas ellas descritas en el inciso g) Trabajo en equipo, del nivel narrativo histórico-cultural (páginas 156 a 158).

En el documental también se menciona la diferencia entre ciencia y tecnología. Desde las primeras secuencias Kaplan establece que no hay una finalidad tecnológica específica en el LHC, aunque en varias escenas los fotógrafos frecuentemente encuadran los aparatos tecnológicos que se construyeron para el experimento. Pero a lo largo de su discurso los investigadores reiteran que este experimento no se realiza para producir tecnología, sino para conocer más sobre aspectos de la física y del inicio del universo. Sin embargo, cabe aclarar, que para conocer esos aspectos se ha tenido que desarrollar tecnología específica. Y también el conocimiento resultante implica un avance (Pérez-Tamayo, 2010).

Finalmente, respecto a la función social de *Particle Fever*, primeramente es posible afirmar que Levinson y su equipo de producción divulgaron con responsabilidad, porque tuvieron el apoyo de prestigiados investigadores e instituciones científicas que fungieron como fuentes de información, que validaron los datos y procesos mostrados a la audiencia. Además, el documental cumple la función social cultural-artística (Reynoso, 2015), pues destaca la importancia de la ciencia como parte de la cultura, y describe el proceso histórico implicado en el experimento (desde la descripción del modelo atómico hasta la detención de la partícula bosón de Higgs). Asimismo, satisface la función social educativa, porque el contenido constituye un complemento de la educación formal al brindar información actualizada en física de partículas.

Aunque en *Particle Fever* se muestran grandes aparatos tecnológicos, la forma en que se presentan no caen en un discurso celebratorio o demagógico (Fayard, 2004), pues también se informan los obstáculos en el trabajo científico. Aunado a lo anterior presenta el conocimiento, y los procesos científicos, no sólo desde una perspectiva utilitaria que conduce a beneficios tecnológicos (Estrada, 2015), también subraya la importancia del conocimiento *per se*, y muestra la investigación científica como una manera de comprender un fenómeno de la naturaleza (como el inicio del universo y la constitución de las partículas). Asimismo, exhibe de manera accesible no sólo resultados de una investigación científica, también da cuenta del arduo y discontinuo proceso. Finalmente, no es posible saber si este documental incentiva en la audiencia el gusto por la ciencia, o si coadyuva en la construcción del diálogo entre la sociedad y la comunidad científica, o si bien contribuye a reducir la brecha entre el desarrollo científico actual y lo aprendido en la escuela, (Nepote, 2015), para saber lo anterior sería necesario realizar un cuidadoso análisis de audiencias.

4.2.2. Elementos mejorables de *Particle Fever*

Uno de los elementos que podría mejorarse en *Particle Fever* radica en el modo epidíctico que despliega. Si bien este fue mencionado como un acierto en la sección anterior (puesto que al final se muestra que el experimento, y el dinero gastado en él, alcanzó uno de los objetivos principales: detectar la partícula bosón de Higgs), también constituye un punto en contra. En las secuencias 9 y 18 se da cabida a las especulaciones que los medios emiten sobre los posibles riesgos del experimento. Aunque algunas de estas ideas son absurdas (como la portada del periódico en que se lee “el mundo va a desaparecer”, o el audio de una presentadora de noticias que advierte que “un grupo de científicos marginales cree que el LHC podría generar un hoyo negro que tragaría a la Tierra”), en ningún otro momento se reconoce a los medios como representantes de la sociedad que brinda información del experimento. Ninguno de los investigadores menciona la importancia de informar al público (sólo a Kaplan se le ve en una conferencia donde los asistentes hacen preguntas sobre el LHC). El compromiso social de la ciencia queda obviado, se da por sentado que el conocimiento producido es más que suficiente para aportar a la humanidad. Lo anterior se explica, en parte, por el hecho de que el director del documental estudió física de partículas y, aunque no se dedica al trabajo académico, comprende y se siente afín a esta comunidad. De igual forma Kaplan, co-productor, es parte del gremio, y no es crítico con la actividad que desempeña.

Otro de los elementos mejorables que presenta el documental es que, aunque a primera vista parecería que Levinson evita encasillar a los personajes en héroes o villanos, al final cae en esta fórmula dicotómica pues los protagonistas forman parte de un mismo equipo (los científicos), que padece el acecho de los medios de comunicación. Y aunque lo anterior podría constituir un elemento que ayude a que el público desarrolle afinidad por los investigadores, (al tiempo que aumenta la tensión en el relato), al final cae un poco en la victimización de estos ante los medios, lo cual implica no reconocer que la sociedad tiene derecho a estar informada sobre cómo se gastan sus impuestos, y esta información se desarrolla con ayuda de los medios. Sin embargo, el documental se queda en la crítica al mal periodismo, que busca la nota sensacionalista en lugar de intentar explicar a la audiencia los pormenores científicos, e implicaciones sociales, del experimento. Una vez más, esto se explica por la afinidad de Levinson y Kaplan por la comunidad científica, pero al mismo tiempo va en detrimento de la imparcialidad, pues se colocan del lado de los científicos. Esto desequilibra el documental y lo hace marcadamente epidíctico, no hay crítica a la comunidad que retrata, únicamente halagos.

En otro orden de ideas, *Particle Fever* rompe con el estereotipo del científico difundido en revistas, periódicos y televisión que, de acuerdo con Mitchell y McKinnon (2018), se caracteriza por retratar a los científicos como hombres distraídos, socialmente distantes, desinteresados de la vida doméstica y cotidiana; o bien, hombres mayores con barba, que portan bata y lentes (Finson, 2002); cuya personalidad se distingue por ser amoral, insensible y obsesiva (Mitchell y McKinnon, p. 2). En el cine, principalmente de ficción, se encasilla a los científicos en roles como el tonto virtuoso, el científico impersonal, el alquimista, el héroe o el aventurero (Haynes, 1994; LaFollette, 1988; Nelkin, 1995). Sin embargo, aunque el documental rompe con estos estereotipos difundidos en cine, televisión, revistas o periódicos, cae en la dicotomía del científico héroe contra villano(s), arquetipo representado por los medios de comunicación, que cuestionan y hasta tergiversan las consecuencias del experimento. Como ya se mencionó, esta división no es beneficiosa porque obvia la característica informativa de los medios en tanto representantes de la sociedad. Por lo tanto se deja de lado la importancia de que la sociedad esté informada sobre la forma en que sus impuestos se gastan en ciencia, así como objetivos, resultados y posibles consecuencias de este tipo de experimentos.

Una vez detallados las aportaciones y los aspectos mejorables del documental, en la siguiente sección se presentan algunas sugerencias que habrían enriquecido este documental, o que sería importante tener en consideración en la realización de una producción de divulgación de ciencia.

4.2.3. Sugerencias en la producción de documentales de divulgación de ciencia

Aunque *Particle Fever* es una obra cuyos componentes se encuentran bien articulados, en la sección anterior se pudo apreciar que tiene algunos elementos mejorables, que podrían haberse reforzado para así constituir un ejemplo ideal en divulgación de ciencia audiovisual. Como ya se

mencionó, el modo epidíctico presente en el documental tiene la desventaja de eludir la actitud crítica hacia el trabajo científico y su relación con la sociedad. La mayor parte de los documentales de ciencia se quedan en la parte epidíctica, dan a conocer las investigaciones y el proceso, o incluso a los investigadores detrás de estas, pero olvidan hacer preguntas críticas a los mismos científicos. En la secuencia 9 de *Particle Fever*, el día del lanzamiento de prueba del primer haz (que ocurrió el 10 de septiembre de 2008) se muestran noticieros especulando sobre las posibles consecuencias al iniciar el experimento. Particularmente una narración televisiva advierte que un grupo de “científicos marginales” cree que el colisionador podría generar un agujero negro que tragaría a la Tierra. Al mismo tiempo la cámara detalla la portada de un periódico cuyo encabezado es “El mundo va a desaparecer el 10 de septiembre”. Aparece Gianotti hablando por teléfono con algún medio, desmiente los rumores propagados sobre el posible fin del mundo y asevera seriamente: “es absurdo y no tiene sustento científico alguno lo que usted dice. No es posible que el LHC vaya a destruir el mundo, es absolutamente ridículo”. Si bien este fragmento evidencia el ánimo especulativo, y hasta sensacionalista, que desafortunadamente presentan algunos medios de comunicación cuando informan temas de ciencia, esto no quiere decir que todos los medios sean iguales y que se les deba censurar. Y aunque a lo largo del documental se explica la finalidad del experimento, y algunas de sus características, el trasfondo de este sigue siendo una caja negra. Es decir, jamás se explica cómo es que a partir de la colisión entre los haces de protón se generan los datos que tanto buscan ¿cómo acceden a esos datos? Por otro lado, tampoco explican las posibles consecuencias si el experimento fallara. El espectador podría pensar que todo cuanto los investigadores aseveran es verdad, y que lo mostrado por los medios es sensacionalista y calumnioso, esta extrapolación perjudica el acercamiento entre los científicos y la sociedad.

En otro orden de ideas, aunque casi todas las características importantes del trabajo científico (provisionalidad del conocimiento científico; diversidad de métodos; observación, inducción y creatividad; diferencia entre hipótesis, leyes y teorías; uso de modelos científicos; contexto social y subjetividad; trabajo en equipo; y diferencia entre ciencia y tecnología) se abordan en *Particle Fever*, hay otros que no se explicitan o aclaran. Este es el caso de las declaraciones de Dimopoulos, quien constantemente emplea la frase “conocer la verdad”. Aunque este es el dicho del investigador, podría haberse incluido una aclaración que acotara que no es posible conocer la verdad, o que la ciencia no tiene como finalidad la búsqueda de la verdad. Habría sido oportuno aclarar que a partir de un experimento pueden obtenerse datos que sirven como evidencia que valida, apoya o justifica una ley o una teoría, pero no las puede probar, ya que no hay forma de demostrar que son verdaderas de una vez y para siempre.

Aunado a lo anterior, a partir de lo mostrado en *Particle Fever* parecería que la obtención de datos es suficiente para que la comunidad acepte y modifique ideas que fueron diferentes por mucho tiempo atrás. Esto de nuevo tiene que ver con el concepto de “verdad”, aunque algunos científicos (como Dimopoulos) hablen de la verdad como algo que espera ser “descubierto” y que es definitivo e incuestionable. Sin embargo, la verdad no es algo que exista *per se*, consiste más

bien en un constructo y, por lo tanto, no es objetivo ni definitorio. Por lo tanto, la obtención de datos no basta para “probar” algo, porque esos datos precisan ser interpretados, no hablan por sí mismos, y la interpretación se lleva a cabo desde una perspectiva determinada, puesto que es un intérprete quien la lleva a cabo desde un horizonte determinado, con preconcepciones e intenciones. Los datos no son neutrales ni objetivos, por lo tanto su interpretación difícilmente lo será. Más allá del documental que se analiza en esta investigación, sería oportuno considerar que esta aclaración se incluyera en las producciones de divulgación, para que el público no se quede con la idea de una ciencia absolutista y abstracta cuya misión es “descubrir la verdad”.

Por otro lado, los investigadores en *Particle Fever* hacen mención de la teoría de la supersimetría en contraposición a la teoría del multiverso. Las teorías son explicaciones inferidas a partir de generalizaciones en los fenómenos de la naturaleza; sin embargo, supersimetría y multiverso son más bien hipótesis, pues consisten en predicciones que, mediante la acumulación de pruebas y su eventual aceptación en la comunidad científica, pueden derivar en teorías o leyes. En tanto hipótesis, supersimetría y multiverso, son planteamientos provisionales que, aún cuando se validen y acepten, también tendrán un carácter provisional. Estas aclaraciones son importantes en el documental, de lo contrario la audiencia podría quedarse con ideas imprecisas.

Aquí concluye la discusión de resultados que se realizó a lo largo de dos secciones, la primera para analizar la metodología diseñada, y la segunda para examinar los resultados del producto analizado, el documental *Particle Fever*. Con base en esta discusión de resultados, en la siguiente sección se presentan dos guías; la primera pretende ayudar a que las personas interesadas en analizar audiovisuales de divulgación de ciencia cuenten con elementos básicos necesarios para hacerlo; la segunda pretende constituir lineamientos generales para que guionistas, productores o realizadores de materiales de divulgación tengan presentes elementos que ayudarían a que estas producciones muestren al público un trabajo científico más cercano a la realidad, para que comprendan mejor sus implicaciones, alcances y limitaciones.

Guías metodológicas

La metodología analítica desarrollada, y el detallado estudio de *Particle Fever*, pueden contribuir principalmente en dos vertientes: por un lado ayudar a que otras personas interesadas en analizar audiovisuales de divulgación de ciencia cuenten con elementos básicos necesarios para hacerlo; y por otro lado, servir como guía para que guionistas, productores o realizadores de materiales de divulgación tengan presentes elementos que ayudarían a que estas producciones muestren al público un trabajo científico más cercano a la realidad, para que comprendan mejor sus implicaciones, alcances y limitaciones. En esta sección se presentan dos guías para tales objetivos, bajo advertencia de que las propuestas descritas constituyen una síntesis de la investigación, por lo tanto, se recomienda revisarla para comprender mejor el sustento teórico de lo aquí propuesto.

Guía de análisis de producciones audiovisuales de divulgación de ciencia

Procedimientos previos

- a) Seleccionar una producción específica para analizar (spot, cápsula, programa de televisión, documental, etc.), escribir su ficha técnica, sinopsis, área del conocimiento que aborda, científicos que participan, y justificar la elección.
- b) Establecer una primera finalidad del estudio: ¿Qué se pretende analizar en el audiovisual? Esto implica definir los aspectos a estudiar (formales, narrativos, divulgativos, filosóficos, etc.).
- c) Segmentar el material en episodios, secuencias, encuadres o fotogramas, según la finalidad del análisis.
- d) Estratificar, es decir identificar los elementos que aparecen reiteradamente a lo largo del documental, como el tema que aborda y el modo de representarlo (*expositivo, de observación, interactivo o reflexivo*; asimismo puede ser *expositivo con estilo visual de efecto realista, explicativo con estilo visual de efecto retórico, reconstructivo con estilo visual de efecto ficcional y especulativo con estilo visual de efecto pictórico*); la narrativa (repetición de acciones por parte del protagonista o personajes principales, así como la posición del narrador: homodiegética si es protagonista o testigo, o posición heterodiegética cuando el narrador es omnisciente u objetivo, y señalar su punto de vista: primera, segunda o tercera persona); descripción breve de los personajes que aparecen a cuadro, o por medio de voz *off*, para registrar número de participaciones, quién aparece en mayor número de ocasiones y por qué, así como distinguir las características de las intervenciones para categorizar el rol representado.
- e) Construir un catálogo de elementos identificados en la segmentación y la estratificación.
- f) Ordenar y jerarquizar los componentes anteriores para establecer relaciones entre ellos.
- g) Escribir una escaleta que sirva como modelo simplificado del audiovisual.

Análisis formal

- a. Formal analítico-descriptivo. Consiste en el reconocimiento de los componentes formales del audiovisual. Estos se dividen en visuales (personajes, objetos y lugares; iluminación y color; cualidades materiales; animaciones y gráficos) y sonoros (monólogos y diálogos; sonido directo y efectos sonoros; banda sonora musical).

- *Personajes, objetos y lugares*: descripción de personajes y otros elementos que aparecen dentro del cuadro de imagen.
- *Iluminación y color*: gradaciones e intensidad de la luz; descripción del colorido, saturación, matiz, tonalidad y contrastes en los colores predominantes.
- *Cualidades materiales*: soportes y materiales empleados (cinta física o digital, sensibilidad de la cinta, formato 16:9 o 4:3).
- *Animaciones y gráficos*: estos elementos digitales suelen emplearse en los audiovisuales de ciencia para explicar de manera sintética fenómenos complejos por medio de modelos, gráficas o reconstrucciones. Entre las técnicas de animación más recurridas se encuentran *stop motion*, *rotoscopia*, *cut-out*, *plastinación*, *pixilación digital* y *animación por computadora*.
- *Monólogos y/o diálogos*: conversaciones que sostienen los personajes con ellos mismos, o con otros.
- *Sonido directo y efectos sonoros*: los primeros son captados de manera simultánea al filmar las imágenes, mientras que los segundos se fabrican artificialmente en estudio para ayudar a acentuar la imagen.
- *Banda sonora musical*: piezas musicales que aparecen a lo largo del documental y que pueden guiar, enfatizar o contrastar los acontecimientos mostrados.

b. Formal semiótico. Descripción de las relaciones que establecen los elementos visuales y sonoros entre sí, esto es la composición fotográfica, la movilidad y el montaje

- *Composición fotográfica*: descripción de: 1) escala de campos y planos (campo larguísimo, campo largo, campo medio, campo total, figura entera, plano americano, media figura, primer plano, primerísimo plano y plano detalle); 2) grados de angulación (frontal, picado, contrapicado, nadir, cenital, holandés, subjetivo, semi subjetivo y lateral) e 3) inclinación de la cámara (normal, oblicua, vertical).
- *Movilidad*: por un lado está el movimiento profilmico (desplazamiento de las personas y los objetos representados en el cuadro de la imagen), y por otro los movimientos de la cámara subdivididos en: reales (*travelling*, *steady-cam*, *pan right*, *pan left*, *dolly in*, *dolly back*) y aparentes (*zoom in* y *zoom back*).
- *Montaje*: organización y articulación del conjunto de escenas. Existen diversos tipos de montaje que se pueden sintetizar de acuerdo a la forma en que se vinculan las imágenes, lo que resulta en cinco formas básicas de asociación (por identidad, por analogía y contraste, por proximidad, por transitividad y por acercamiento). También destacan el plano-secuencia (toma continua sin cortes de por medio), el *découpage* (asociación de una serie de imágenes que contienen y refieren situaciones diferentes), y el montaje rey (asociación de imágenes que no tienen un nexo directo entre sí).

c. Formal histórico-cultural. Consiste en el reconocimiento y la descripción del estilo, es decir, la manera en que los elementos visuales y sonoros se emplean de forma determinada en una cultura y época particular. Para definir mejor el estilo se retoma la clasificación de técnicas narrativas, dramáticas y argumentativas (León, 1999).

Técnicas narrativas

Existen dos técnicas narrativas básicas identificables en audiovisuales de divulgación de ciencia: la simplificación de contenidos y los planteamientos antropomórficos. La simplificación implica exponer en términos sencillos un tema científico sin caer en distorsiones o en la reducción exagerada de un planteamiento; se puede realizar mediante la eliminación de términos científicos difíciles de explicar, la supresión de controversias, o la abreviación del tiempo para mostrar fenómenos que en condiciones normales toman horas, días, meses, años o hasta décadas en ocurrir. Por otro lado, el antropomorfismo implica atribuir características o actitudes humanas a seres que carecen de estas.

Técnicas dramáticas

Los recursos dramáticos permiten estructurar y ordenar la información de manera comprensible apelando a los valores emocionales del público (León *et al.*, 2010). Se distinguen principalmente cuatro técnicas dramáticas: a. Construcción de relatos (lineales o con una estructura dramática que presenta, desarrolla y cierra un conflicto); b. Consideración de los seres reales como personajes; c. Elementos de conflicto y *suspense* (el primero se refiere a las polémicas que existen entre personajes, el segundo remite a la espera impaciente de algo que sucederá en el relato, o la duda por saber si el personaje cumplirá, o no, su objetivo); y d. *Leitmotivs*. En algunos audiovisuales cuyo tema principal es la naturaleza, el conflicto generalmente se identifica en la lucha de los seres por sobrevivir o defender su territorio. Asimismo, los *leitmotivs* más frecuentes en audiovisuales de ciencia son la búsqueda de la verdad, el viaje, o el científico-héroe contra el mal; y las historias más comunes son el ciclo de la vida (nacimiento, reproducción y muerte), narrativa de la búsqueda, y el triunfo de la ciencia sobre la naturaleza (León, 1999). El relato puede dividirse en tres actos a lo largo de los cuales el protagonista emprende una aventura (Campbell, 1959 y 1991; Vogler, 2002):

Primer Acto

1. El mundo ordinario
2. El incidente incitador
3. El llamado a la aventura
4. El rechazo al llamado
5. El encuentro con el mentor
6. La travesía del primer umbral (clímax del primer acto)

Segundo Acto

7. Pruebas, aliados, enemigos
8. La aproximación a la caverna más profunda
9. La odisea (calvario-clímax del segundo acto)
10. La recompensa

Tercer Acto

11. El camino de regreso
12. La resurrección
13. El retorno con el elixir

Técnicas argumentativas

Consisten en modos retóricos que pretenden persuadir al espectador, esto ocurre cuando el relato consigue la identificación del público con la causa que defiende (Azevedo, 2010). Los modos retóricos dominantes en el documental de divulgación son: epidíctico (modo demostrativo o festivo por medio del cual el narrador trata de convencer al espectador apelando a las virtudes de un tema particular, aludiendo valores aceptados universalmente o presentando argumentos para demostrar una proposición; algunos documentales de divulgación muestran herramientas tecnológicas que pretenden mejorar la vida de las personas), forense (se refiere a la explicación de las causas de algún fenómeno) y deliberativo (se presentan y evalúan las ventajas y desventajas de un fenómeno, y sus implicaciones hacia el futuro) (León, 1999 y Azevedo, 2010).

Otro elemento de la argumentación es la reputación y competencia del presentador (en caso de que haya), debe tener cierto grado de credibilidad para constituir una figura de autoridad. Tanto lo que diga, como su forma de decirlo (si emplea un lenguaje coloquial y un tipo de voz determinado) mediante su imagen y presencia (vestimenta, posturas, lenguaje corporal, etc.), son fundamentales para que el público tenga confianza y credibilidad hacia él y sus aseveraciones.

Entre los argumentos retóricos más empleados en audiovisuales de divulgación se encuentran las figuras afectivas, destacan el *expolitio* (ampliación de una idea mediante su repetición o argumentación minuciosa), la evidencia (presentación o descripción detallada de un fenómeno), y la sermocinación (caracterización por parte del orador, de un discurso que pertenece a otra persona); estas tres ayudan a que el discurso sea más claro y verosímil. Aunado a lo anterior, se encuentran figuras retóricas afectivas como el símil y la personificación. También destacan figuras retóricas de sustitución de pensamiento como la metáfora (intercambio del sentido de un término a otro, con base en una comparación) o la hipérbole (exageración intencionada), (León, 1999).

Análisis simbólico

d. Simbólico analítico-descriptivo. Reconocimiento y descripción de símbolos en: personajes, objetos, lugares, iluminación color y cualidades materiales, animaciones y gráficos, diálogos, efectos sonoros y banda sonora musical.

- *Identificación de símbolos en personajes*: la descripción de la vestimenta, bisutería, posturas corporales y expresiones faciales refieren a símbolos propios a una cultura específica.

- *Identificación de símbolos en objetos*: la manera en que los grandes aparatos tecnológicos, y otros objetos producto del trabajo científico, son descritos por medio de determinados encuadres y movimientos de cámara transmiten un mensaje. En algunos audiovisuales de divulgación científica se muestran imágenes tecnomórficas (imágenes de aparatos tecnológicos que ayudan a los científicos a desempeñar su trabajo) e imágenes semiomórficas (imágenes de textos en libros u otros dispositivos, ecuaciones escritas en un pizarrón o proyección, y lecturas de aparatos tecnológicos) que pueden, o no, ser explicadas a la audiencia (Silverstone, 1984).

- *Identificación de símbolos en lugares*: los sitios específicos donde ocurre la narrativa del documental poseen una carga simbólica que transmite un mensaje.
- *Simbolismo de iluminación y color*: las características de la iluminación (si es natural o artificial, con una determinada difusión y dirección) y de los colores intencionalmente predominantes también comunican.
- *Simbolismo en diálogos, efectos sonoros y banda sonora musical*: el lenguaje empleado por el narrador o los protagonistas aporta al desarrollo dramático y argumentativo de la narrativa. Además, la elección de una melodía específica para un momento crucial en la narrativa transmite información sobre la trama, puede incluso contrapuntar los momentos de conflicto, *suspense* y clímax.

e. Simbólico semántico. Se refiere a la descripción de la relación de los elementos visuales y sonoros con sus referentes reales o imaginarios.

- *Simbolismo de la composición fotográfica y la movilidad*: la elección de campos y planos, grados de angulación e inclinación, y movimientos (reales o aparentes) para retratar personas u objetos denotan una intencionalidad.
- *Simbolismo del montaje*: la particular articulación del conjunto de escenas depende del trabajo de edición. El estilo para asociar las imágenes es determinante para que la narrativa fluya y refleje una particular forma de relatar, que aportará un significado específico a la narración.

f. Simbólico histórico-cultural. Los símbolos descritos en el nivel simbólico analítico-descriptivo deben ponerse en contexto para insertarlos en un horizonte histórico-cultural determinado. Este nivel consiste en la descripción de la significación específica de esos símbolos en un momento histórico dado y en una sociedad determinada.

- *Análisis de símbolos (identificados en el documental) en el contexto del relato mítico*: los elementos simbólicos identificados y descritos en el nivel simbólico analítico-descriptivo se explican más ampliamente y dentro del relato mítico al que pertenecen.

Análisis narrativo

g. Narrativo analítico-descriptivo. Consiste en descripción de personajes y las acciones que realizan (así como la relación jerárquica que existe entre ellos); las situaciones de conflicto, *suspense* y resolución; así como la representación de la ciencia.

- *Descripción de los personajes y sus acciones (y la relación jerárquica que establecen)* de acuerdo a los roles asignados a los científicos en las narrativas de ciencia: 1) *Científico(a) pensador(a)*, aparece generalmente rodeado(a) de productos de su raciocinio, o de otro(as) colegas, trabajando en su oficina o entorno laboral; 2) *Científico(a) técnico(a)*, comúnmente se retrata en el laboratorio en medio de equipos, es experto(a) en el manejo de aparatos tecnológicos; 3) *Científico(a) obrero(a)*, se presenta a cuadro con herramientas simples que le ayudan a producir datos resultado de una actividad física; 4) *Científico(a) demostrador(a)*, generalmente aparece con apoyos visuales que muestra al público; 5) *Científico(a) intérprete*, rodeado por el mundo natural o entorno laboral significativo para él (ella), y que puede

describir al público con autoridad y confianza (Silverstone, 1984); 6) Científico(a) líder, aparece coordinando a colegas subordinados en su entorno laboral.

- *Descripción de elementos de conflicto, suspense y resolución*: el conflicto se relaciona con las polémicas que existen entre personajes, o de un personaje consigo mismo. Por otro lado, el *suspense* se refiere a la espera impaciente de algo que sucederá, es la duda por saber si un personaje va a cumplir su objetivo. La resolución es la disolución del conflicto, que propicia un cambio en el personaje y sus circunstancias.
- *Descripción de la representación de la ciencia*: identificación de los conceptos científicos empleados para determinar si se explican y contextualizan (en qué grado y tipo: social, histórica, política, cultural, etc.). Aunado a lo anterior, si el documental lleva a cabo una contextualización sociológica de la ciencia, también se puede acotar su relevancia para la vida cotidiana, si cuestiona la ciencia o a los científicos (León *et al.*, 2010).

h. Narrativo semántico. Consiste en la descripción de la manera en que se agrupan las unidades mínimas de significación para conformar motivos, que a su vez constituyen temas que configuran un todo narrativo.

- *Síntesis, descripción y análisis de la narración del documental*: se refiere al modo de expresión dominante en el relato, que puede ser: a) descriptivo-informativo (exposición de información sin que exista una historia en el sentido dramático); b) narrativo (relato de hechos organizados cronológicamente, es decir lo que se conoce como contar una historia); c) relato de experiencias de los propios actores; o d) argumentativo (consiste en un tratamiento conceptual de las ideas tratadas). Por otro lado también se debe señalar la posición del narrador (si es homodiegético, es decir protagonista o testigo; o si es heterodiegético, o sea omnisciente u objetivo) y su punto de vista (primera, segunda o tercera persona). Aunado a lo anterior se da cuenta de la línea narrativa, si es una narración cronológica, o si realiza *flash back* o *flash forward* (León *et al.*, 2010).

i. Narrativo histórico-cultural. Consiste en situar histórica y culturalmente el documental y su(s) autor(es). Este nivel tiene cuatro momentos analíticos: en primer lugar se realiza una descripción de las prácticas del equipo de producción (para situar histórica y culturalmente a los autores de tal obra); posteriormente se describe el contexto histórico y cultural en que se produjo y exhibió el documental. Asimismo, se lleva a cabo un análisis histórico-cultural del documental desde la perspectiva del intérprete en dos temas: por un lado se describen las características importantes del trabajo científico¹²¹ (a. provisionalidad del conocimiento científico; b. diversidad de métodos; c. observación, inducción, deducción y creatividad; d. diferencia entre hipótesis, leyes y teorías; e. modelos científicos; f. contexto social y subjetividad; g. trabajo en equipo; h. diferencia entre ciencia y tecnología), y por otro se detalla la función social del documental.

¹²¹ La lista surgió a partir del análisis y reconstrucción del término Naturaleza de la Ciencia (NdC) y sus elementos, realizada en la tesis de maestría (Martínez-Rodríguez, 2016).

a) *Provisionalidad del conocimiento científico*

Algunos audiovisuales de divulgación presentan los resultados de una investigación científica sin mencionar los diversos y largos procedimientos implicados. Sin embargo, el trabajo científico implica cambio continuo, el conocimiento resultante nunca está terminado ni es absoluto, tiene carácter provisional pues constantemente está sujeto a revisión, y en cualquier momento se puede presentar nueva información. La evidencia acumulada apoya, valida y justifica una ley o una teoría, pero no las puede probar, ya que no hay forma de demostrar que son verdaderas. La aceptación del conocimiento científico nuevo nunca es inmediata, particularmente cuando es diferente a lo tradicionalmente planteado. Sería importante analizar si los audiovisuales divulgan sólo resultados o también dan cuenta del proceso detrás de estos (como la interacción entre científicos y los procesos de negociación que atraviesan).

b) *Diversidad de métodos*

Los científicos no tienen un único método de trabajo, por lo tanto es absurdo resumir su labor a una serie de pasos mecánicos, porque hay diferentes tipos de investigaciones y, por lo tanto, diversas formas de trabajo en cada comunidad científica. Aunque los experimentos no son la única herramienta que emplean, es uno de los recursos más mostrados en las producciones de divulgación. Se puede analizar si los audiovisuales muestran otras técnicas, además de los experimentos, al explicar los procedimientos que desempeñan los científicos de diferentes áreas al realizar su trabajo (ver páginas 141 a 143).

c) *Observación, inducción, deducción y creatividad*

La tarea científica implica más que sólo acumulación de observaciones, e interpretación de estas por medio de deducciones. Aunque los científicos interpretan la evidencia empírica con ayuda de la inducción, una gran cantidad de evidencia y las inferencias lógicas (deducción, inducción y abducción) no son suficientes para llegar a conclusiones y generar conocimiento. Si la inducción bastara para generar conocimiento, se tendrían que observar todos los casos a lo largo del tiempo para poder alcanzar conclusiones válidas. Los científicos emplean la creatividad y la imaginación a lo largo de sus investigaciones, se aventuran a hacer propuestas sobre los patrones que observan, y con base en esto plantean leyes y teorías. Se puede analizar si los audiovisuales de divulgación muestran la creatividad como parte del proceso intelectual de los científicos.

Asimismo se puede identificar si muestran otros elementos que también influyen en el trabajo de los investigadores, como la experiencia vital, el contexto social, la cosmovisión y trayectoria académica, o la ideología de los grupos de investigación a los que pertenecen (porque la educación, las tradiciones científicas, el contexto y la historia de vida determinan la manera en que los científicos observan, analizan y describen los fenómenos que estudian).

d) Diferencia entre hipótesis, leyes y teorías

Algunos audiovisuales de divulgación hablan de “teorías” cuando en realidad se refieren a hipótesis, pues refieren predicciones que aún no han sido probadas o aceptadas por la comunidad científica. Hipótesis, leyes y teorías constituyen diferentes tipos de conocimientos. Por un lado, las hipótesis consisten en predicciones que, mediante la acumulación de pruebas y su eventual aceptación en la comunidad científica, pueden derivar en teorías o leyes. Por otro lado, las leyes y las teorías son dos tipos de conocimiento diferente: las leyes son generalizaciones de las relaciones en fenómenos de la naturaleza; mientras que las teorías son explicaciones inferidas a partir de esas generalizaciones. Estos tipos de conocimientos no se encuentran subordinados entre ellos, es decir una teoría no se puede convertir en una ley, o viceversa. Tanto las leyes como las teorías (al igual que cualquier conocimiento científico) son susceptibles de cambios, por lo tanto son provisionales. Es importante identificar si en los audiovisuales de divulgación se explican estos conceptos adecuadamente, la diferenciación es importante porque ayudaría a erradicar la idea de que las teorías tienen menor jerarquía que las leyes y que, por lo tanto, no son propuestas serias.

e) Modelos científicos

Los audiovisuales de divulgación frecuentemente emplean modelos para explicar algún fenómeno o herramienta tecnológica; sin embargo, rara vez especifican a la audiencia si ese modelo es una copia idéntica de la realidad, o una representación modificada para ayudar a los científicos a aprehender un fenómeno. La consideración de los modelos científicos como representaciones de la realidad conlleva una discusión entre las posturas filosóficas del realismo y el instrumentalismo. Por un lado, el realismo considera que las representaciones describen realmente la situación en la naturaleza, de tal manera que los productos de la ciencia funcionan y permiten generar predicciones acertadas. Por otro lado, el instrumentalismo considera que los modelos son sólo herramientas que ayudan a representar la realidad, para así poder trabajar con ella. Sería importante analizar si los audiovisuales de divulgación que muestran modelos aclaran a la audiencia si estos son copias de la realidad, o representaciones modificadas que ayudan a que los científicos comprendan mejor un fenómeno específico.

f) Contexto social y subjetividad

En tanto que es realizado por personas insertas en un determinado contexto social, el trabajo científico y el conocimiento resultante son influidos por aspectos sociales y culturales, al mismo tiempo estos también influyen en él. Los científicos tienen numerosas preconcepciones, ideas, valores, creencias personales y bagaje cultural que incide en las interpretaciones de las observaciones que realizan, así como en el desempeño de su trabajo. Debido a que el conocimiento científico es producto del trabajo de personas, no puede ser completamente objetivo, porque no es posible eliminar radicalmente la subjetividad inherente a las personas que lo desarrollan. Se debe analizar si los audiovisuales de ciencia

presentan a los investigadores como personas inmersas en un determinado contexto social o, si por el contrario, lo abstraen de su entorno.

g) Trabajo en equipo

Gran parte del trabajo científico es realizado por equipos de investigadores, la idea de que los científicos trabajan en solitario es errada, no sólo por la gran cantidad de trabajo que implica, también porque las epifanías individuales rara vez suceden. Generalmente se requiere de colaboración entre colegas para observar patrones y proponer ideas. En tanto que es producto del trabajo en equipo, la labor científica implica un largo proceso de negociación donde generalmente hay discusiones, acuerdos y desencuentros. Sería interesante revisar si las producciones de divulgación científica muestran el trabajo en equipo o, si por el contrario, perpetúan la idea de que el conocimiento es producto de un genio solitario.

h) Diferencia entre ciencia y tecnología

No todo el conocimiento científico deviene en tecnología, también se lleva a cabo investigación cuyo objetivo no es desarrollar tecnología que beneficie a la sociedad. Mucho trabajo de investigación se realiza para profundizar en el conocimiento de fenómenos naturales y otros aspectos del entorno. La distinción entre la ciencia y la tecnología, ayuda a entender que la ciencia no sirve sólo para solucionar problemas, o mejorar la calidad de vida de las personas. Asimismo, la innovación científica no siempre se refiere a objetos físicos; el conocimiento que surge a partir de la ciencia básica también implica innovación, aunque no tenga como principal objetivo generar aparatos tecnológicos. Es importante analizar la manera en que las producciones audiovisuales abordan la relación entre ciencia, tecnología y sociedad; por ejemplo si consideran la tecnología como un resultado necesario de la ciencia (y muestran a la sociedad sólo como beneficiaria) o, si por el contrario, divulgan trabajo científico que no necesariamente deviene en tecnología, y además promueven el diálogo entre científico(a)s y sociedad.

Descripción de la función social del audiovisual de divulgación. La divulgación de la ciencia posee características que le permiten cumplir con diversas funciones sociales, entre las que se encuentran: explicar los beneficios de la ciencia; mostrar que la ciencia es parte de la cultura, complementar la educación formal; convencer a la sociedad, y a los tomadores de decisiones, de la importancia de apoyar la ciencia; contribuir a la formación, e incentivar la participación, de ciudadanos capaces de tomar decisiones informadas relacionadas con ciencia; construir puentes para un diálogo entre la sociedad y la comunidad científica; fomentar el pensamiento crítico, entre otros (Fayard, 2004; Reynoso, 2015; Nepote, 2015; Estrada, 2015). Algunos de estas funciones también podrían encontrarse en las producciones audiovisuales de divulgación.

En la siguiente página se presenta un cuadro que resume lo propuesto en esta guía.

Pasos previos al análisis		
a) Seleccionar una producción a analizar b) Establecer una primera finalidad del estudio c) Segmentar el audiovisual d) Estratificar el audiovisual e) Catalogar elementos identificados en segmentación y estratificación f) Ordenar y jerarquizar los elementos anteriores g) Escribir escaleta del audiovisual		
NIVEL FORMAL		
Formal analítico-descriptivo	Formal semiótico	Formal histórico-cultural
Identificación y descripción de Elementos visuales: - Personajes, objetos y lugares - Iluminación y color - Cualidades materiales - Animaciones y gráficos Elementos sonoros: - Monólogos y diálogos - Sonido directo y efectos sonoros - Banda sonora musical	Descripción de las relaciones que establecen los elementos visuales y sonoros entre sí: - Composición fotográfica - Movilidad - Montaje	Reconocimiento y descripción del estilo: la manera en que elementos visuales y sonoros se emplean de forma determinada en una cultura y época particular. - Técnicas narrativas - Técnicas dramáticas - Técnicas argumentativas
NIVEL SIMBÓLICO		
Simbólico analítico-descriptivo	Simbólico semántico	Simbólico histórico-cultural
Identificación y descripción de símbolos en los elementos visuales y sonoros: - Personajes - Objetos - Lugares - Iluminación, color y cualidades materiales - Animaciones y gráficos - Diálogos, efectos sonoros y banda sonora musical	Descripción de la relación de los elementos visuales y sonoros con sus referentes reales o imaginarios. - Composición fotográfica - Movilidad - Montaje	Significación específica de los símbolos en un momento histórico dado, en una sociedad determinada: - Análisis de símbolos (identificados en el documental) en el contexto del relato mítico.
NIVEL NARRATIVO		
Narrativo analítico-descriptivo	Narrativo semántico	Narrativo histórico-cultural
Descripción de: - Personajes y acciones (y sus relaciones jerárquicas) - Situaciones de conflicto, <i>suspense</i> y resolución. - Descripción de la representación de la ciencia en el audiovisual.	Descripción de la manera en que las unidades mínimas de significación, visual y sonora, se agrupan en motivos, y estos en temas. - Síntesis, descripción y análisis de la narración en el audiovisual.	Descripción de las prácticas del equipo de producción. Contexto histórico y cultural de producción y exhibición. Características importantes del trabajo científico en el audiovisual. Descripción de la función social del audiovisual.

El cuadro anterior resume la guía de análisis de producciones audiovisuales de divulgación de ciencia. En la siguiente sección se presenta una guía breve de elementos importantes que deberían incluir los audiovisuales de divulgación de ciencia.

*Guía de elementos importantes que idealmente
deberían incluir los audiovisual de divulgación de ciencia*

A continuación se presenta una lista de elementos que sería importante considerar incluir en las producciones audiovisuales de divulgación de ciencia. Esta lista no es concluyente, y tampoco se puede aplicar inmutablemente a todos los audiovisuales de divulgación; constituye una propuesta para que diseñadores de producción, guionistas y realizadores consideren e incluyan las más convenientes de acuerdo a los intereses y características de la producción y su público. Los elementos enlistados no tienen un orden prioritario específico. Finalmente, se recuerda que las propuestas en esta guía constituyen una síntesis resultado de la presente investigación, por lo tanto se recomienda su revisión para ampliar y comprender mejor el soporte teórico del que parten.

- Antes de comenzar la planeación del audiovisual se deben considerar características del público al que se dirige la producción (como edad, escolaridad, cultura a la que pertenecen, entre otros).
- Asimismo, en la medida de lo posible, se recomienda conocer el contexto en que se va a exhibir el material, por ejemplo la sala de algún museo o centro de ciencia, escuelas, convenciones, congresos, o si será transmitido por televisión, cine, u otro lugar (como salas de espera en consultorios médicos, bancos o transporte público). Considerar el mayor número de elementos sobre el público y el lugar donde se presentará el audiovisual ayudará a determinar el contenido y el formato ideal.
- Divulgar conocimientos, fenómenos, hipótesis o argumentaciones basadas en trabajo científico.
- Plantear un *storytelling*, relato o historia con un incidente incitador, situaciones de conflicto, momentos de *suspense* y desenlace con una resolución. El conflicto se relaciona con las polémicas que existen entre personajes, o de un personaje consigo mismo. El *suspense* se refiere a la espera impaciente de algo que sucederá, la duda por saber si un personaje va a cumplir su objetivo. La resolución es la disolución del conflicto.
- Considerar a lo(a)s científico(a)s que aparecerán en el audiovisual como personajes con una motivación específica, y procurar que representen alguno(s) de los siguientes roles, *científico(a) pensador(a)*: aparece generalmente rodeado(a) de productos de su raciocinio, o de otro(as) colegas, trabajando en su oficina o entorno laboral; *científico(a) técnico(a)*: comúnmente se retrata en el laboratorio rodeado(a) de equipos, es experto(a) en el manejo de aparatos tecnológicos; *científico(a) obrero(a)*: se presenta con herramientas que le ayudan a producir datos resultado de una actividad física; *científico(a) demostrador(a)*: generalmente aparece con

apoyos visuales que muestra al público; *científico(a) intérprete*: rodeado por el mundo natural o entorno laboral significativo para él (ella), y que puede describir al público con autoridad; *científico(a) líder*: aparece coordinando a colegas subordinados.

- Incluir elementos de técnicas narrativas (como simplificación adecuada, y no excesiva, de contenidos), dramáticas (construcción de relatos con una estructura que presente, desarrolle y cierre un conflicto, y a lo largo de la cual existan momentos de *suspense*), y argumentativas (modos retóricos que persuadan al espectador por medio de la identificación; modos epidícticos, forenses o deliberativos; o figuras retóricas de sustitución de pensamiento, como las metáforas).
- Procurar que los elementos anteriores se conjuguen para conformar un modo de presentar el tema, los más comunes son: *a. expositivo con estilo visual de efecto realista* (apela al espectador por medio de intertítulos o voz *off* que generalmente pertenece a un científico experto en el tema abordado, que también puede fungir como anfitrión de la audiencia); *b. explicativo con estilo visual de efecto retórico* (una voz *off* explica al espectador algún fenómeno o concepto científico empleando estrategias retóricas, como metáforas, que ayudan al público a comprender mejor los procesos del trabajo científico); *c. reconstructivo con estilo visual de efecto ficcional* (por medio de una narrativa basada en la ficción se recrean acontecimientos científicos que ocurrieron en el pasado, su validez se ratifica mediante la presencia de un narrador experto que relata los eventos); *d. especulativo con estilo visual de efecto pictórico* (emplea herramientas propias de los relatos de ficción para especular sobre fenómenos que tendrían lugar en el futuro, o lo que podría haber ocurrido en circunstancias diferentes, emplea también técnicas de animación digital).
- Procurar que el relato audiovisual tenga alguna(s) de las siguiente expresiones dominantes: *a. descriptivo-informativo*: exposición de información sin que exista una historia en sentido dramático; *b. narrativo*: relato de hechos organizados cronológicamente; *c. relato de experiencias de los propios actores*: los protagonistas de la historia dan cuenta de sus acciones en un contexto determinado; *d. argumentativo*: tratamiento conceptual de las ideas abordadas.
- Incluir algunos elementos importantes del trabajo científico:

a) Provisionalidad del conocimiento científico

El trabajo científico es un proceso, el conocimiento resultante nunca está terminado ni es absoluto, tiene carácter provisional pues constantemente está sujeto a revisión, en cualquier momento se puede presentar nueva información. La evidencia acumulada apoya, valida y justifica una ley o una teoría, pero no las puede probar, ya que no hay forma de demostrar que son verdaderas. La aceptación del conocimiento científico nuevo nunca es inmediata, particularmente cuando es diferente a lo tradicionalmente planteado. En un audiovisual de divulgación de ciencia sería importante presentar no sólo los resultados de una investigación, sino también dar cuenta de los procedimientos, la interacción y negociación al interior de la comunidad científica para alcanzar consensos antes de presentar resultados.

b) Diversidad de métodos

Con el afán de convencer al público de acercarse a la ciencia, algunas producciones de divulgación aseveran que “la ciencia está en todos lados”; esto contribuye a perpetuar la idea de que “la ciencia y su método” pueden estudiar cualquier fenómeno o resolver cualquier problemática. Sin embargo, existen temas que no pueden explicarse únicamente desde la ciencia, como dilemas morales, éticos o apreciaciones estéticas. Además, los científicos no tienen un único método de trabajo, no se puede resumir su labor a una serie de pasos homogéneos para las diversas áreas porque hay diferentes tipos de investigaciones y, por lo tanto, diversas formas de trabajo en cada comunidad científica. Es importante que los audiovisuales no muestren sólo imágenes de experimentos (uno de los recursos más aludidos en estas producciones), pues no son la única herramienta que emplean los científicos para validar sus propuestas. Se debe aclarar a la audiencia que no hay un método único en el trabajo científico; la forma en que los investigadores trabajan no puede resumirse a una serie de pasos porque es diferente para cada área, incluso en una misma área existen diversos procedimientos que dependen del desempeño particular a cada grupo de investigación.

c) Observación, inducción, deducción y creatividad

Los científicos emplean la creatividad y la imaginación a lo largo de sus investigaciones, se aventuran a hacer propuestas sobre los patrones que observan, y con base en esto proponen leyes y teorías. La tarea científica implica más que sólo observar cuidadosamente un fenómeno e interpretarlo; una gran cantidad de evidencia y las inferencias lógicas (deducción, inducción y abducción) no bastan para llegar a conclusiones y generar conocimiento, si así fuera se tendrían que observar todos los casos a lo largo del tiempo para alcanzar conclusiones válidas. Los audiovisuales de divulgación deberían mostrar con mayor frecuencia la creatividad como parte importante del trabajo científico. Asimismo, se debería enfatizar que el contexto social y cultural; educación, tradiciones científicas y grupos de investigación también influyen la manera en que los científicos observan, analizan y describen los fenómenos.

d) Diferencia entre hipótesis, leyes y teorías

Hipótesis, leyes y teorías constituyen diferentes tipos de conocimientos y no se encuentran subordinados entre ellos. Por un lado, las hipótesis consisten en predicciones que, mediante la acumulación de pruebas y su eventual aceptación en la comunidad científica, pueden derivar en teorías o leyes. Por otro lado, leyes y teorías son tipos de conocimiento diferente: las primeras son generalizaciones de las relaciones en fenómenos de la naturaleza; y las segundas son explicaciones inferidas a partir de esas generalizaciones. Una teoría no se puede convertir en ley, ni una ley en teoría. Al igual que cualquier conocimiento, leyes y teorías pueden modificarse de acuerdo a nuevos datos, por lo tanto son provisionales. El uso adecuado de estos conceptos, o la diferenciación entre ellos en los audiovisuales de divulgación es importante porque contribuye a aclarar conceptos científicos, y además ayuda a erradicar la idea de que las teorías tienen menor jerarquía que las leyes, y que no son propuestas serias.

e) Modelos científicos

El uso de modelos en los audiovisuales de divulgación es frecuente, pues ayuda a mostrar herramientas tecnológicas o fenómenos complejos. Considerar a los modelos científicos como representaciones de la realidad conlleva una discusión entre las posturas filosóficas de realismo (al cual considera que las representaciones describen fielmente un fenómeno) e instrumentalismo (consideración de los modelos en tanto herramientas que ayudan a representar la realidad, para así poder trabajar con ella). Sería importante que estas producciones aclararan a la audiencia si los modelos presentados son copias de la realidad, o representaciones modificadas que ayudan a que los científicos aprehendan mejor un fenómeno específico.

f) Contexto social y subjetividad

El trabajo científico, y el conocimiento resultante, son realizados por personas inmersas en un contexto social determinado, por lo tanto su educación, concepciones, valores, creencias personales y bagaje cultural influye en las interpretaciones de las observaciones que realizan, así como en el desempeño de su trabajo. Sería importante que los audiovisuales de divulgación mostraran a los investigadores en su entorno social y cultural, pues este influye en su labor, así como en sus concepciones y propuestas.

g) Trabajo en equipo

Gran parte del trabajo científico es realizado por equipos de investigadores, la idea de que los científicos trabajan en solitario es errada, no sólo por el gran esfuerzo que implica para una persona, también porque la idea de la epifanía del genio solitario (el famoso momento Eureka) no sucede con frecuencia. Sería importante que los audiovisuales de divulgación mostraran la cantidad de científicos que se dedican a una investigación específica, que se detallaran los momentos en que debaten, discuten, negocian o alcanzan consensos, pues esto reflejaría una idea más cercana a la realidad del trabajo científico, y ayudaría a erradicar la percepción de que el conocimiento es producto de algún genio solitario aislado del mundo.

h) Diferencia entre ciencia y tecnología

No todo el conocimiento científico sirve para desarrollar tecnología, también se realiza investigación para profundizar en el conocimiento de fenómenos naturales y otros aspectos del entorno. La distinción entre la ciencia y la tecnología, ayuda a entender que la ciencia no sirve sólo para solucionar problemas, o mejorar la calidad de vida de las personas. Asimismo, la innovación científica no siempre se refiere a objetos físicos; el conocimiento que surge a partir de la ciencia básica también implica innovación aunque no tenga como principal objetivo generar aparatos tecnológicos. Sería importante que los audiovisuales de divulgación muestren esta diferencia y no sólo den cuenta de investigaciones que devienen en tecnología. Asimismo, deberían abordar la relación entre los científicos y la sociedad, y promover el diálogo entre estos éstos.

- Considerar incluir alguna de las funciones sociales que persigue la divulgación, como disminuir la brecha entre los conocimientos aprendidos en la escuela y el desarrollo científico-tecnológico actual, exponer el trabajo científico como parte de la cultura, exponer a la audiencia la importancia de tomar decisiones informadas o instarla a participar en temas de ciencia ciudadana, entre otras.
- El contenido debe poseer rigor científico, por lo tanto se debe consultar a investigadores expertos, y su participación debe explicitarse en el audiovisual. Aunado a lo anterior, aunque el presentador sea una figura de autoridad con reputación y competencia (como un investigador), la producción debe convencer a la audiencia no sólo mediante la participación de expertos, también procurando una adecuada descripción, argumentación y veracidad del contenido.
- Procurar que el discurso divulgativo sea crítico de la labor científica, pues los medios de comunicación representan, o deberían representar, a la sociedad y sus intereses.
- Procurar que emplazamientos, encuadres, planos y movimientos de cámara describan el espacio, las personas, las situaciones, los objetos tecnológicos, o textos significativos del trabajo científico (imágenes tecnomórficas y semiomórficas) de la manera más interesante posible, y con una intencionalidad específica, es decir que estas herramientas no sólo describan por describir.
- Mostrar con mayor frecuencia a científicas mujeres, sobre todo cuando son líderes de proyectos de investigación.
- Mostrar a lo(a)s investigadore(a)s en ámbitos cotidianos, y no sólo en su entorno laboral, podría contribuir a que le público sienta mayor afinidad hacia estos.
- Procurar relacionar el contenido científico (conocimiento, procesos, resultados) con elementos de la cultura propia del contexto donde será exhibida la producción.
- Incluir animaciones y gráficos animados que ayuden a explicar de manera sintética fenómenos complejos, por medio de modelos o reconstrucciones concisas cuando resulten necesarias, que ayuden a complementar las explicaciones de investigadore(a)s y/o presentador(a).
- Procurar que las herramientas de montaje y edición aporten dinamismo al relato, que contribuya a complementen el discurso divulgativo y audiovisual propuesto por guionistas, realizadores y fotógrafos.
- Incluir una banda sonora musical que aporte dinamismo al relato, que contribuya a contrapuntear el montaje de las imágenes propuesto por la persona que lleva a cabo la edición. Además que transmita algún significado dentro del contexto científico, cultural y social específico al lugar

donde se exhibe la producción. A continuación se presenta un cuadro que resume lo propuesto en esta sección:

Elementos a considerar al escribir un guión
<ul style="list-style-type: none"> - Considerar características del público al que se dirige el audiovisual. - Conocer el contexto donde será exhibido el audiovisual. - Divulgar conocimientos, fenómenos, hipótesis o argumentaciones basadas en el trabajo científico. - Plantear un <i>storytelling</i>, relato o historia con un incidente incitador, situaciones de conflicto, momentos de <i>suspense</i> y desenlace con una resolución. - Procurar que lo(a)s científico(a)s que aparezcan representen alguno(s) de los siguientes roles: científico(a) pensador(a), científico(a) técnico(a), científico(a) obrero(a), científico(a) demostrador(a), científico(a) intérprete, científico(a) líder. - Incluir elementos de las técnicas narrativas, dramáticas y argumentativas. - Articular el relato en algún modo narrativo: <i>a) expositivo con estilo visual de efecto realista; b) explicativo con estilo visual de efecto retórico; c) reconstructivo con estilo visual de efecto ficcional; d) especulativo con estilo visual de efecto pictórico.</i> - Procurar que el relato tenga alguna(s) expresión dominante: <i>a) descriptivo-informativo; b) narrativo; c) relato de experiencias de los propios actores; d) argumentativo.</i> - Incluir elementos importantes del trabajo científico: <i>a) provisionalidad del conocimiento científico; b) diversidad de métodos; c) observación, inducción, deducción y creatividad; d) diferencia entre hipótesis, leyes y teorías; e) modelos científicos; f) contexto social y subjetividad; g) trabajo en equipo; h) diferencia entre ciencia y tecnología.</i> - Procurar que el relato empate con alguna de las funciones sociales que persigue la divulgación científica.
Elementos a considerar durante la filmación / grabación
<ul style="list-style-type: none"> - Mantener un rigor científico consultando investigadore(a)s experto(a)s en el tema. - Mantener una actitud crítica hacia el trabajo científico, cuestionar a lo(a)s investigadore(a)s y su labor. - Procurar que emplazamientos, encuadres, planos y movimientos de cámara describan el espacio, las personas, las situaciones, los objetos tecnológicos, o textos con una intencionalidad específica. - Mostrar con mayor frecuencia a científicas mujeres. - Mostrar a lo(a)s investigadore(a)s en ámbitos cotidianos, y no sólo en su entorno laboral. - Procurar relacionar el contenido científico (conocimiento, procesos, resultados) con elementos de la cultura propia del contexto donde será exhibida la producción.
Elementos a considerar en el montaje / edición
<ul style="list-style-type: none"> - Incluir animaciones y gráficos animados que ayuden a explicar sintéticamente fenómenos complejos para complementar las explicaciones. - Procurar que las herramientas de montaje y edición aporten dinamismo al relato y complementen el discurso audiovisual sin caer en redundancia. - Incluir una banda sonora musical que contrapuntee el discurso visual y transmita un significado del contexto científico, cultural y social específico al lugar donde se exhibe la producción.

Se recuerda que las guías descritas en este apartado constituyen una propuesta en dos vertientes: por un lado ayudar a que personas interesadas en estudiar audiovisuales de divulgación de ciencia tengan presentes los elementos necesarios para analizar estas producciones; y por otro lado, servir como guía para que guionistas, productores o realizadores de materiales de divulgación audiovisual sean conscientes de los elementos que podrían ayudar a que su labor muestre al público un trabajo científico más cercano a la realidad, para que la audiencia conozca y comprenda mejor implicaciones, alcances y limitaciones de la ciencia. Asimismo, se advierte que las propuestas descritas en ambas guías constituyen una síntesis resultado de la presente investigación, por lo tanto, se recomienda leerla completa para contextualizar y comprender las bases teórico de donde parten.

Finalmente, se presenta una última tabla que intenta sintetizar las guías anteriores y puede servir para que el analista lleve a cabo un cotejo rápido de los elementos abordados en esta investigación, que podrían identificarse en un audiovisual de divulgación de ciencia. Cabe advertir: el hecho de que alguna categoría aquí mencionadas no se identifiquen en el audiovisual a “evaluar”, no necesariamente significa que este sea deficiente o incompleto, es trabajo del analista profundizar en la interpretación de cada uno de los elementos, y para ese fin en cada categoría se referencia la página que puede consultar para ampliar la información.

Elementos destacados en los audiovisuales de divulgación de ciencia	Sí	No
El audiovisual divulga conocimientos, fenómenos, hipótesis o argumentaciones basadas en el trabajo científico.		
En el audiovisual participan investigadore(a)s experto(a)s en el tema abordado, y avalan el contenido.		
El discurso del audiovisual mantiene una actitud crítica hacia el trabajo científico (ver p. 182).		
El audiovisual plantea un <i>storytelling</i> : relato o historia con personajes en un mundo donde ocurre un incidente incitador, atraviesan situaciones de conflicto, momentos de <i>suspense</i> y se alcanza un desenlace con resolución del conflicto (ver pp. 39 y 194).		
El audiovisual incluye elementos de las técnicas narrativas, dramáticas y argumentativas (ver pp. 40 a 47).		
El audiovisual articula el relato en algún modo narrativo: <i>a) expositivo con estilo visual de efecto realista; b) explicativo con estilo visual de efecto retórico; c) reconstructivo con estilo visual de efecto ficcional; d) especulativo con estilo visual de efecto pictórico</i> (ver pp. 42 y 43).		
El relato presenta alguna expresión dominante como: <i>a) descriptivo-informativo; b) narrativo; c) relato de experiencias de los propios actores; d) argumentativo</i> (ver p. 59).		

Lo(a)s científico(a)s que aparecen en el audiovisual representen alguno(s) de los siguientes roles: <i>científico(a) pensador(a), científico(a) técnico(a), científico(a) obrero(a), científico(a) demostrador(a), científico(a) intérprete, científico(a) líder</i> (ver p. 41).		
En el audiovisual aparecen científicas mujeres desempeñando su profesión y coordinando a colegas o subordinados.		
El audiovisual incluye alguno(s) de los elementos importantes del trabajo científico: <i>a) provisionalidad del conocimiento científico; b) diversidad de métodos; c) observación, inducción, deducción y creatividad; d) diferencia entre hipótesis, leyes y teorías; e) modelos científicos; f) contexto social y subjetividad; g) trabajo en equipo; h) diferencia entre ciencia y tecnología</i> (ver pp. 59 a 62, 190 a 192 y 195 a 197). En los ocho renglones siguientes se describe cada uno.		
<i>Provisionalidad del conocimiento científico</i> : además de presentar los resultados de una investigación científica, el audiovisual menciona los diversos y largos procedimientos implicados en el trabajo científico (como la interacción entre científicos, los procesos de negociación que atraviesan y los consensos que alcanzan), (ver pp. 60, 190 y 195).		
<i>Diversidad de métodos</i> : cuando en el audiovisual se explican (o muestran) los procedimientos que realizan lo(a)s científico(a)s, como parte de su trabajo de investigación, muestran una variedad de técnicas y herramientas, y no sólo experimentos (ver pp. 60, 190 y 196).		
<i>Observación, inducción, deducción y creatividad</i> : el audiovisual menciona (o muestra) la creatividad como parte del trabajo de lo(a)s científico(a)s. Exhibe elementos que también influyen en el trabajo de lo(a)s investigadore(a)s, como su experiencia vital, contexto social, cosmovisión, trayectoria académica, o la ideología de los grupos de investigación a los que pertenecen (ver pp. 60, 190 y 196).		
<i>Diferencia entre hipótesis, leyes y teorías</i> : en el audiovisual se explican estos conceptos, o se emplean adecuadamente. Las hipótesis consisten en predicciones que, mediante la acumulación de pruebas y su eventual aceptación en la comunidad científica, pueden derivar en teorías o leyes. Las leyes son generalizaciones de las relaciones en fenómenos de la naturaleza; y las teorías son explicaciones inferidas a partir de esas generalizaciones (ver pp. 61, 191 y 196).		
<i>Modelos científicos</i> : el audiovisual emplea modelos para explicar fenómenos o herramientas tecnológicas, y explica a la audiencia que los modelos constituyen una representación modificada de la realidad, que ayuda a los científicos a aprehender un fenómeno determinado (ver pp. 61, 191 a 197).		
<i>Contexto social y subjetividad</i> : el audiovisual muestra a los investigadores como personas inmersas en un determinado contexto social, influenciados por aspectos culturales de su entorno (ver pp. 61, 191 y 197).		
<i>Trabajo en equipo</i> : el audiovisual muestra a vario(a)s investigadore(a)s colaborando en equipo, negociando, discutiendo y alcanzando acuerdos (ver pp. 62, 192 y 197).		
<i>Diferencia entre ciencia y tecnología</i> : el audiovisual aborda la relación entre ciencia, tecnología y sociedad. Distingue entre ciencia y tecnología, no considera a esta última		

como único producto de la primera. No sólo da cuenta de productos o herramientas empleados por lo(a)s científico(a)s, también de conocimientos que surgen a partir de la ciencia básica. Promueve el diálogo entre lo(a)s científico(a)s y la sociedad (ver pp. 62, 192 y 197).		
El audiovisual exhibe alguna de las funciones sociales que persigue la divulgación científica (ver pp. 62 y 160 a 162).		
El audiovisual relaciona el contenido científico (conocimiento, procesos, resultados) con elementos de la cultura propia del contexto donde se exhibe la producción.		
El audiovisual incluye animaciones y gráficos animados que ayudan a explicar sintéticamente fenómenos complejos para complementar las explicaciones.		
Las herramientas de montaje y edición del audiovisual aportan dinamismo al relato y complementen el discurso audiovisual sin ser redundante.		
El audiovisual incluye una banda sonora musical que complementa el discurso visual y transmite un significado del contexto científico, cultural y social específico al lugar donde se exhibe el audiovisual.		

Con base en la discusión de resultados y las guías descritas, en la siguiente y última sección se presentan las conclusiones generales de la investigación.

Conclusiones

Con base en la discusión de resultados, y las guías metodológicas propuestas en la sección anterior, es posible acotar las principales resoluciones alcanzadas a partir de la investigación, estas se encuentran descritas en dos vías: conclusiones de la metodología aplicada al análisis del documental y conclusiones del análisis aplicado a *Particle Fever*.

Conclusiones de la metodología empleada

Uno de los objetivos de esta investigación doctoral consistía en diseñar una metodología específica para el análisis de documentales de divulgación de ciencia, que contemplara no sólo aspectos formales y de contenido, también de filosofía de la ciencia que destaque elementos importantes del trabajo científico (provisionalidad del conocimiento; diversidad de métodos; observación, inducción y creatividad; diferencia entre hipótesis, leyes y teorías; uso de los modelos científicos contexto social y subjetividad; trabajo en equipo; y la diferencia entre ciencia y tecnología). La variedad de elementos constitutivos de un documental de divulgación hizo necesario el desarrollo de un instrumento de análisis suficientemente flexible, pero también sólido. Por esta razón se eligió la hermenéutica ontológica, específicamente la propuesta de triple mimesis de Ricoeur (2004), para cimentar la metodología; también se integró la propuesta analítica a tres dimensiones de Amador (2017), y se robusteció con elementos específicos de análisis del filme, propuestos por Casetti y di Chio (2016), y componentes particulares de audiovisuales de ciencia, aportados por León (2010) y Martínez-Rodríguez (2016).

La combinación de los planteamientos de estos seis autores resultó en una propuesta analítica a nueve niveles, que tuvo por lo menos tres versiones que se modificaron conforme se aplicó el análisis y surgieron (o se reacomodaron) elementos que no estaban contemplados; es decir, la aplicación del instrumento ayudó en la construcción de la metodología. La conclusión es que la hermenéutica no constituye un modelo apriorístico, pues procura adaptarse al objeto de estudio; aunado a lo anterior, el análisis mismo no es definitorio ni concluyente, sirve a los objetivos particulares planteados, y resultó muy útil para el objeto de estudio particular de esta investigación (el documental *Particle Fever*), si pretende aplicarse a otros documentales, o producciones audiovisuales de ciencia, deberá revisarse y ajustarse según el producto particular y los objetivos del analista.

El análisis se planteó principalmente cualitativo desde el principio, y aunque hubo temor por reparar en aspectos cuantitativos (como la segmentación del documental en episodios, secuencias, encuadres o imágenes; o el conteo de minutos en que aparecen los personajes y las animaciones) al final, cuando estos elementos se estudiaron en conjunto, aportaron resultados cualitativos. Por ejemplo, cuando se llevó a cabo la descripción de personajes en el proceso de estratificación, se registraron por separado las intervenciones de cada protagonista y el número de estas, asimismo se contaron las apariciones para saber quién lo hacía más y por mayor tiempo.

Aunque al principio esto parecía cuantitativo, se realizó con la finalidad de conocer las características de las intervenciones y categorizar el rol de los personajes. El escaso análisis cuantitativo también ayudó para saber cuánto tiempo se asignaba a las intervenciones, a los gráficos, a los aparatos tecnológicos, entre otros, y así saber a cuál otorgaba mayor importancia el director del documental.

En otro orden de ideas, la repetición de elementos analíticos en más de un nivel se justifica y no es reiterativo, porque en cada apartado resalta una particularidad divergente. Por ejemplo, la banda sonora musical es un componente que se detalla en el nivel formal analítico-descriptivo, dentro de los elementos formales sonoros y, posteriormente, en el nivel simbólico analítico-descriptivo; en el primero se enfatizan los momentos en que la banda sonora tiene presencia y se da cuenta de la persona encargada de la musicalización y composición del tema principal; en el segundo se explicitan aspectos simbólicos de la selección musical. Así, aunque existen elementos que se repiten en varios niveles de análisis, la descripción varía según los objetivos de la categoría.

La metodología diseñada y aplicada demostró ser efectiva para estudiar el documental *Particle Fever* porque se identificaron, analizaron e interpretaron elementos formales, simbólicos, divulgativos y concernientes a la filosofía de la ciencia de esta producción. Sin embargo, aplicar esta metodología a otros documentales, o audiovisuales, de ciencia, no garantiza que cumpla con las expectativas analíticas a cabalidad, ya que la metodología depende de los objetivos que el analista tenga en mente. Cabe recordar que uno de los pasos previos al análisis consiste en explicitar los objetivos que se pretenden conseguir, pues estos guiarán al analista a lo largo del diseño metodológico y su aplicación. Por ejemplo, otros documentales o audiovisuales de ciencias sociales podrían requerir categorías que no fueron consideradas en esta metodología. Pero, a grandes rasgos los pasos descritos se pueden tomar como base (pues esta metodología procuró ser lo más explícita posible) y ajustarse (agregar o eliminar categorías).

Se recomienda que en futuros análisis se retome la misma tradición hermenéutica ontológica en la cual descansa esta propuesta, ya que parte de considerar el horizonte desde el cual se sitúa el intérprete, así como las categorías analíticas que le interesan. Sirva pues esta metodología como mera guía, a partir de la cual se puedan agregar nuevos elementos *ad hoc* a las necesidades de la producción a estudiar, los objetivos a alcanzar, y el horizonte histórico cultural del que parte el intérprete. Las recomendaciones generales para aplicar la metodología descrita en esta investigación son las siguientes:

- Previo al análisis se debe: delimitar el producto a analizar, establecer la finalidad del análisis, seleccionar una metodología analítica, segmentar la producción (en episodios, secuencias, encuadres o fotogramas según convenga a la finalidad del análisis), estratificar el audiovisual (identificar los elementos que aparecen reiteradamente a lo largo de este), catalogar los componentes identificados en la segmentación y la

estratificación; ordenar y jerarquizar (los elementos reconocidos en los pasos anteriores) y escribir una escaleta (que sirva como modelo aprehensible).

- Se recomienda abordar primero el nivel formal analítico-descriptivo (identificación y descripción de elementos visuales y sonoros); luego el formal semiótico (descripción de las relaciones que establecen los elementos visuales y sonoros entre sí); posteriormente el simbólico analítico-descriptivo (identificación y descripción de símbolos en los elementos visuales y sonoros); luego el simbólico semántico (descripción de la relación de los elementos visuales y sonoros con sus referentes reales o imaginarios).
- Una vez hecho lo anterior se aborda el nivel formal histórico-cultural (reconocimiento y descripción del estilo: la manera en que elementos visuales y sonoros se emplean de forma determinada en cada cultura y época particular); luego el nivel simbólico histórico-cultural (que remite a la significación específica de los símbolos, identificados en el audiovisual, en un momento histórico dado y en una sociedad determinada).
- Finalmente, se puede realizar el análisis de la fila conformada por el nivel narrativo, primero el narrativo analítico-descriptivo (que consiste en la descripción de los personajes, sus acciones y relaciones jerárquicas; situaciones de conflicto, *suspense* y resolución; y la representación de la ciencia); posteriormente el narrativo semántico (descripción de la manera en que los elementos visuales y sonoros se agrupan en motivos y temas); finalmente se desarrolla el narrativo histórico-cultural (que consiste en situar histórica y culturalmente el documental y autores, pero también se considera la perspectiva del intérprete).

Una vez descritas las conclusiones de la metodología, en el siguiente apartado se resaltan los puntos más importantes del análisis aplicado al documental *Particle Fever*.

Conclusiones del análisis a Particle Fever

Particle Fever es un documental en modo de representación predominantemente participativo, ya que los protagonistas son mostrados en su entorno laboral, y por medio de monólogos, principalmente, reflejan sus expectativas y preocupaciones alrededor de los experimentos realizados en el gran acelerador de hadrones del CERN. El modo participativo brinda al espectador la sensación de estar en el lugar y muestra algunas situaciones que de otra manera no podría presenciar. Asimismo, predomina un modo narrativo expositivo con estilo visual de efecto realista, porque apela al espectador por medio de la presencia, y voz *off*, de los protagonistas (en su mayoría expertos en física de partículas) que guían al espectador.

La construcción dramática del relato emplea como *leitmotive* la búsqueda de la verdad. Los momentos de conflicto (como la fuga de helio de los imanes superconductores) y *suspense*

(presentación de la segunda ronda de datos que revela la masa de la partícula bosón de Higgs a partir de la cual se deduce su detección) ayudan a que la trama avance y sea entretenida. Asimismo, el documental emplea diversas técnicas argumentativas, entre las que destacan elementos retóricos para seducir al espectador como el símil (referencia al contexto cotidiano del público que ayuda a explicar ideas complejas), la afinidad (los protagonistas son personajes de culturas, nacionalidades, edades y personalidades diferentes, lo que ayuda a que el público se sienta afín a alguno de ellos), el modo epidíctico (el relato trata de convencer al espectador de que el experimento fue exitoso porque consiguió detectar la partícula bosón de Higgs), así como la reputación y competencia de los protagonistas (sus declaraciones, presencia, vestimenta y adhesión a instituciones científicas prestigiadas, transmiten credibilidad y confianza) que les dota de autoridad en el tema abordado.

Algunos de los protagonistas de *Particle Fever*, como Kaplan, Dimopoulos y Arkani-Hamed representan el rol de científico intérprete (porque se encuentran en un contexto significativo para ellos y lo explican a la audiencia); Gianotti y Dunford encarnan el rol de científicas como demostradoras, en tanto que presentan resultados y datos a sus colegas. Asimismo, Dunford se presenta también como científica obrera, y Gianotti es mostrada como científica líder. Arkani-Hamed y Dimopoulos encarnan el rol de científicos pensadores, porque aparecen escribiendo ecuaciones, o sea produciendo conocimiento. Casi todos los personajes encajan con los roles propuestos por Silverstone, pero algunos casos como el de Gianotti, aún no habían sido descrito en ningún estudio hasta que en la presente investigación se designó como científica líder. A lo largo del documental las animaciones y los gráficos se presentan oportunamente y sin caer en excesos, se muestran 20 animaciones (3 de las cuales consisten en gráficos animados) que en conjunto tienen una duración de 12'37", lo que representa apenas un 12.6% del tiempo total del documental.

Otro de los aciertos de *Particle Fever* radica en la inclusión de símbolos significativos no sólo en el ámbito científico. Por ejemplo, la escultura de Shiva Natarāja, que aparece al inicio y al final del documental, alude a un mito cosmogónico con dimensión cognoscitiva que remite a la esencia cíclica y dualidad creación-destrucción en el universo, el planeta y los seres humanos, así como el paso del caos al orden y viceversa. El documental muestra a un grupo de investigadores que pretenden detectar una partícula que daría cuenta de una parte importante del origen del universo; hay implícita una necesidad por conocer el origen, crear orden, clasificar y dar sentido de completitud. Aunado al mito cosmogónico también está presente el mito escatológico tanto en la figura de Shiva Natarāja (que remite al fin o renovación del cosmos), como en la trama del documental (donde se propone la posible renovación de los planteamientos científicos vigentes ante los datos más recientes aportados por el experimento). Otro relato mítico presente es el prometeico, pues los investigadores buscan conocer más y compartir ese conocimiento, cultura y civilización con el resto de la humanidad. Finalmente, el uso de la *Sinfonía n° 9 Op. 125 en Re menor (coral)* de Beethoven denota una intención de apelar al sentido de hermandad y trabajo en equipo, así como a la importancia de la razón para la formación de la cultura.

El documental es producto de la articulación entre Levinson, Raschke-Robinson, Held, Murch y Miller, principalmente; un equipo sin experiencia específica en la producción de documentales de ciencia, pero profesionales con vasta trayectoria filmográfica en su respectiva área. La escasa experiencia en divulgación científica se compensó con la formación académica de Levinson (director del filme y doctor en física de partículas por la Universidad de California, Berkeley) y de Kaplan (productor, doctor en física de partículas, y profesor investigador de la Universidad Johns Hopkins), fundamental para reunir al equipo de producción y a los investigadores protagonistas del relato. Aunque el documental no fue pensado con un propósito divulgativo, posee características que frecuentemente se encuentran en estas producciones. También fue fundamental la influencia, y asesoría, de Carole Rifkind (co-directora del documental *Naturally Obsessed: the making of a scientist*, 2009) pues existen elementos comunes en ambas producciones (la comparación entre ciencia y arte, el trabajo en equipo, las discusiones y negociaciones entre científicos, o el largo proceso del trabajo científico y la posibilidad de que este se realice “en vano”). La conjunción de un equipo de producción no especializado en divulgación de ciencia, pero experto en narrativa audiovisual, así como la elección de investigadores con personalidades atractivas que se expresan con claridad ante la cámara, tuvo como resultado un documental con narrativa atractiva y rigor científico.

Particle Fever presenta todas las características importantes del trabajo científico, algunas con mayor presencia que otras, a continuación se resumen las menciones en orden descendente de acuerdo a los elementos que aparecen con mayor frecuencia:

- g) *Trabajo en equipo*. Se menciona por lo menos en once ocasiones en las secuencias 2, 7, 9, 12, 14, 17, 19, 20 y 24. En general se aprecian procesos de negociación y desencuentros al interior de esta comunidad, asimismo se hace patente el largo curso que toma idear soluciones para un desperfecto, y la variedad de especialistas que se organizan para gestionar los arreglos.
- a) *Provisionalidad del conocimiento científico*. Aparece en 9 ocasiones en las secuencias 2, 4, 7, 16, 21, 24 y 45. Las intervenciones, principalmente de Arkani-Hamed y Kaplan, revelan que las teorías planteadas en las últimas décadas no son permanentes, tienen un carácter provisional, y que los datos obtenidos a partir del experimento aportarían evidencia que apoyaría o justificaría mejor el modelo estándar de partículas o la supersimetría.
- f) *Contexto social y subjetividad*. Se aborda en 7 ocasiones a lo largo de las secuencias 3, 10, 11 y 18. Principalmente se alude al contexto social en que los científicos nacieron y vivieron sus primeros años, y cómo esto influyó en su decisión para estudiar física, o para tener una concepción del mundo determinada.
- b) *Diversidad de métodos*. Se alude en cuatro ocasiones en las secuencias 4, 5, 15 y 16. Tanto en el discurso de los protagonistas, como en las actividades que realizan, se muestra la dicotomía entre físicos teóricos y experimentales, y como emplean diferentes herramientas para observar y plantear ideas.

- c) *Observación, inducción, deducción y creatividad.* Se resalta en cuatro momentos de las secuencias 4, 14, 15 y 25. Se muestra a los físicos teóricos plantear teorías a partir de la lógica, y aportar ideas que implican creatividad; asimismo, los físicos experimentales diseñan y construyen lo planteado por los teóricos, también echando mano de la creatividad.
- d) *Diferencia entre hipótesis, leyes y teorías.* Se hace referencia a las teorías en tres ocasiones a lo largo de las secuencias 4, 11 y 15. Específicamente se alude la posibilidad de probar si una teoría es cierta, lo cual es impreciso porque sólo se puede contrastar con la evidencia acumulada que apoye, valide o justifique tal teoría, pero no más.
- e) *Uso de modelos científicos.* Se explicita en dos ocasiones en las secuencias 16 y 20 principalmente, aunque cabe mencionar que la mayoría de las animaciones del documental, así como el mismo experimento del LHC, y las hipótesis del multiverso y la supersimetría, son modelos de datos, de objetos ficticiales no materiales que se basan en planteamientos mentales, y constituyen una representación idealizada que desempeña una función predictiva.
- h) *Diferencia entre ciencia y tecnología.* Aparece explícitamente en 2 ocasiones en la secuencia 7, pero a lo largo del documental el discurso de los investigadores reitera que este experimento no se realiza para producir tecnología, sino para conocer más sobre aspectos de la física y del inicio del universo; y aunque el resultado no es aplicable en un aparato tecnológico específico, el conocimiento resultante implica una aportación significativa.

A partir de lo anterior se observa que el trabajo en equipo es una de las características que más destaca en el documental, así como el carácter provisional del conocimiento y el contexto social y la subjetividad. En contraste, los modelos científicos y la diferencia entre ciencia y tecnología se abordan en menor medida.

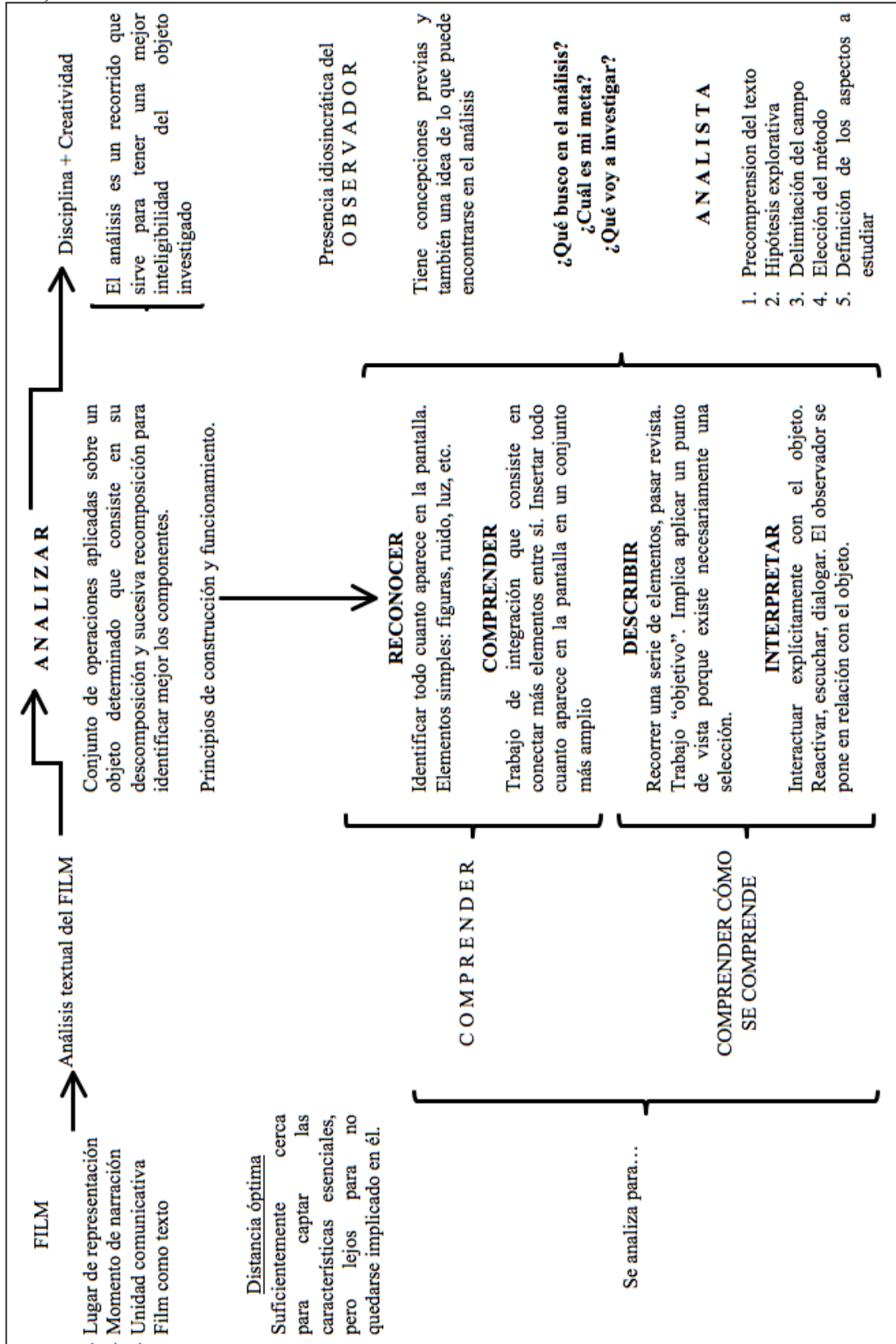
En tanto producto de divulgación, *Particle Fever* cumple con la función social cultural-artística (porque destaca la importancia de la ciencia como parte de la cultura, y describe el proceso histórico implicado en el experimento) y la función social educativa (porque el contenido podría constituir un complemento de la educación formal al brindar información actualizada en física de partículas). Aunque en el documental se muestran grandes aparatos tecnológicos, el discurso no cae en lo demagógico gracias a que también se informan los obstáculos de esta labor. Asimismo, los procesos del trabajo científico muestran la importancia del conocimiento *per se* (una forma de comprender un fenómeno de la naturaleza como el inicio del universo y la constitución de las partículas), y no representan únicamente la perspectiva utilitaria. Desafortunadamente, para saber si el documental cumple con otras funciones sociales propias de la divulgación (como incentivar en la audiencia el gusto por la ciencia, coadyuvar en la construcción del diálogo entre la sociedad y la comunidad científica, o contribuir a reducir la brecha entre el desarrollo científico actual y lo aprendido en la escuela) es preciso realizar un cuidadoso análisis de audiencias.

En otro orden de ideas, el modo epidíctico desplegado en *Particle Fever* ignora la importancia de la labor de los medios de comunicación, en tanto representantes de la sociedad, que deben informar a la audiencia los pormenores (costos, consecuencias, beneficios, entre otros) del experimento. Desafortunadamente sólo Kaplan aparece en una conferencia divulgando información sobre el objetivo y características del LHC; casi ninguno de los demás investigadores muestra interés por aclarar al público los pormenores de su trabajo. Sería importante que el compromiso social de la ciencia se considerara, lo cual implicaría que se cuestionara a los investigadores y hubiera una actitud crítica hacia la actividad que desempeñan. Relacionado con lo anterior, el documental cae un poco en la victimización de los científicos porque no reconoce a los medios como representantes de la sociedad (que tiene derecho a estar informada), sólo retratan al periodismo amarillista en detrimento de la imparcialidad, esto desequilibra el documental y lo hace marcadamente epidíctico, pues sólo halaga a la comunidad que retrata.

Aunque *Particle Fever* rompe con el estereotipo del científico masculino, de edad avanzada, con barba, lentes, socialmente distante, desaliñado, distraído, con personalidad amoral, insensible y obsesiva, que no tiene (o no le interesa la) vida cotidiana o doméstica; y tampoco perpetua los típicos roles asignados a los científicos en la televisión y el cine (como el tonto virtuoso, el científico impersonal, el alquimista, el héroe o el aventurero) reincide en la dicotomía del científico héroe contra villano (arquetipo representado por los medios de comunicación que cuestionan y tergiversan la información).

Por último, es importante insistir en que el trabajo científico no tiene como finalidad la búsqueda de la verdad. A partir de un experimento, como el presentado en *Particle Fever*, se pueden obtener datos que sirven como evidencia que valide, apoye o justifique una ley o una teoría, pero no las puede probar, ya que no hay forma de demostrar que son verdaderas de una vez y para siempre. Aunado a lo anterior, también se debe aclarar que la obtención de datos no basta para que la comunidad acepte y modifique ideas que fueron diferentes por mucho tiempo, los datos no bastan para “probar” algo, porque estos precisan ser interpretados, no hablan por sí mismos, y la interpretación se lleva a cabo desde una perspectiva determinada, es un intérprete (con preconcepciones e intenciones) quien la realiza desde un horizonte particular. Los datos no son neutrales ni objetivos, por lo tanto su interpretación difícilmente lo será. Hubiera sido oportuno que esta aclaración se incluya en el documental, para que el público no forme una concepción de ciencia absolutista y abstracta cuya misión es “descubrir la verdad”. Las producciones de divulgación deben ser críticas de la labor científica, en tanto que son medios de comunicación que representan, o deberían representar, a la sociedad.

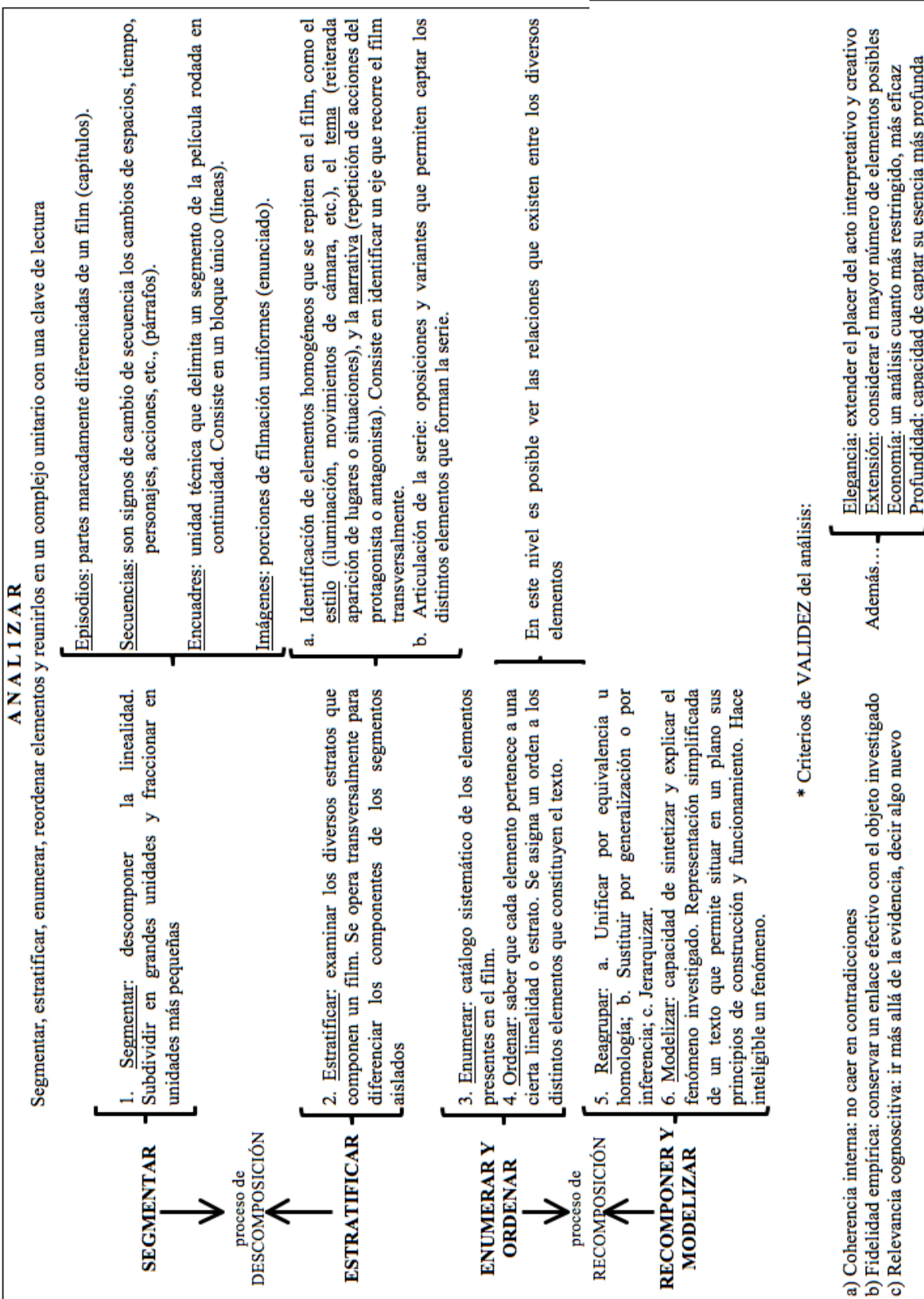
Capítulo 2, cuadro 1: El recorrido del análisis



(Casetti y di Chio, 2016, pp. 11-30)

Capítulo 2, cuadro 2: Los procedimientos del análisis

LOS PROCEDIMIENTOS DEL ANÁLISIS



(Casetti y di Chio, 2016, pp. 31-58)

Capítulo 3, primera sección:

E P I S O D I O S

Créditos iniciales sobre animación (colisiones de “partículas” y fórmulas matemáticas) y música *leit motiv* del documental (00:00-01:23) *fade in*.

Episodio 1 (01:23-11:57)

Desde: Panorámicas del exterior del CERN. Estatua de Shiva (dios del hinduismo) al exterior del CERN. Interior del CERN, LHC en proceso de construcción. David Kaplan conoce el LHC en 2007. Fabiola Gianotti habla de la importancia de la colaboración entre los físicos teóricos y los experimentales. // Hasta: Nima Arkani-Hamed explica la importancia del experimento.

Función narrativa: En este episodio se explica en qué consiste el experimento a realizar en el LHC, su importancia, orígenes, problemas, y propósito. Asimismo se describe la importancia del trabajo en equipo entre los físicos experimentales y los teóricos para el desarrollo del experimento en el LHC. Se presentan algunos de los personajes protagonistas (Kaplan, Gianotti, Dimopoulos y Arkani-Hamed), y se da cuenta de su motivación en común: detectar la partícula Higgs. Este episodio encuentra correspondencia con las etapas narrativas de “El mundo ordinario” y “El incidente incitador” propuestas por (2002), basado en Campbell (descritas en la página 44 de la presente investigación).

Episodio 2 (11:57- 22:50)

Desde: Una semana antes del lanzamiento del primer haz de protones. Fabiola Gianotti relata su experiencia académica y profesional en el CERN. Monica Dunford también habla de su trabajo como posdoctoranda, explica la diferencia entre el trabajo de los físicos teóricos y los experimentales. // Hasta: Kaplan explica el objetivo del experimento en el LHC (detección de la partícula Higgs), aclara en qué consiste el estudio de partículas, y por qué es importante para la física detectar la partícula Higgs. Dunford relata su asombro al conocer el experimento ATLAS por primera vez.

Función narrativa: Otros dos personajes son introducidos en la narración (Dunford y Aleksa). Cada uno de los seis personajes explica en qué consiste la misión que tienen (en qué consiste el experimento del LHC, y cada uno de los experimentos asociados): encontrar la partícula Higgs, y cuál es la importancia de su detección. Este episodio encuentra correspondencia con la etapa narrativa denominada “El llamado a la aventura” por Vogler (2002).

Episodio 3 (22:51-30:26)

Desde: Día de prueba del lanzamiento del primer haz (10 de septiembre de 2008). Dunford desayuna y se prepara para salir de su hogar, viaja en bicicleta hasta el CERN. // Hasta: Dimopoulos recibe la noticia de que el CERN logró poner en marcha los dos haces de protón.

Función narrativa: Los científicos logran poner en marcha el experimento bajo la mirada inquisitiva de los medios, es decir, atraviesan con éxito la primera prueba. Este episodio encuentra correspondencia con la etapa narrativa denominada “La travesía del primer umbral”, que coincide con el clímax del primer acto.

Episodio 4 (30:27- 37:16)

Desde: Arkani-Hamed relata el exilio político que vivieron sus padres (quienes también son físicos), comparte lo que significa el experimento del LHC para su vida académica. // Hasta: Gianotti explica por qué estudió física, y habla de las similitudes entre esta y la música.

Función narrativa: En este episodio se observa la vida cotidiana de los científicos, conocemos sus orígenes culturales, su formación académica y por qué se interesaron en la física. Este episodio encuentra correspondencia con la etapa narrativa denominada “Pruebas, aliados enemigos”.

Episodio 5 (37:17- 44:36)

Desde: Detalle de tubo que forma parte del LHC (nueve días después del lanzamiento del primer haz), la cotidianidad de los científicos es interrumpida por la noticia de una fuga de helio líquido, esto detiene el experimento. // Hasta: Dunford habla sobre la paciencia necesaria para la realización de un experimento tan largo y complejo como el LHC, lo compara con una carrera atlética al tiempo se aparece trotando en los alrededores del CERN.

Función narrativa: En este episodio se presentan las dificultades por las que atraviesan los protagonistas para completar su misión. Hay tensión y conflicto. Este episodio encuentra correspondencia con la etapa narrativa denominada “La aproximación a la caverna más profunda”.

Episodio 6 (44:26- 58:27)

Desde: Aleksa convive con sus hijos y hace experimentos caseros mientras, en *off*, Dimopoulos habla sobre la curiosidad humana. // Hasta: Arkani-Hamed explica en qué consiste la teoría del multiverso y sus implicaciones en la física.

Función narrativa: Se explican los dos posibles resultados que va a arrojar el experimento del LHC, es decir, se describen los dos rumbos posibles que hay al final de la búsqueda. Este episodio encuentra correspondencia con la etapa narrativa denominada “La odisea (calvario)” que coincide con el clímax del segundo acto.

Episodio 7 (58:28-66:25)

Desde: Mike Lamont y otros investigadores hablan sobre las reparaciones de la fuga de helio, esto es previo al primer intento de colisión de alta energía (29 de marzo de 2010). // Hasta: Los investigadores festejan la primer colisión de haces de protón.

Función narrativa: Después de que los protagonistas superan las dificultades atravesadas, logran continuar con el experimento y hacer colisionar con éxito los dos haces de protón, evento necesario para recabar datos y con base en eso realizar los análisis de detección de la Higgs. Este episodio encuentra correspondencia con la etapa narrativa denominada “La recompensa”.

Episodio 8 (66:26-77:23)

Desde: Animación que expone la colisión que ocurre en el LHC, y los datos que produce; estos viajan desde el experimento hasta los servidores en el CERN, y de ahí son distribuidos a diferentes países del globo terráqueo. // Hasta: Kaplan y Arkani-Hamed juegan ping pong emulando una afrenta entre la supersimetría y el multiverso.

Función narrativa: Los datos (producto de la primera y subsecuentes colisiones) arrojados por el LHC son analizados por diversos grupos de científicos adheridos a los diferentes experimentos. En un primer momento hay incertidumbre, porque los primeros resultados no satisfacen las expectativas de los científicos, pero después la incertidumbre se esclarece. Hay misterio e incógnitas. Este episodio encuentra correspondencia con la etapa narrativa denominada “El camino de regreso”.

Episodio 9 (77:24-88:51)

Desde: Titulares de periódicos anuncian la presentación de nuevos datos relacionados con la detección de la partícula Higgs. Kaplan anuncia la conferencia del CERN que tendrá lugar el 4 de julio de 2012 para dar a conocer los nuevos resultados. // Hasta: Diversos medios de comunicación informan que los investigadores han logrado la tan esperada detección la partícula Higgs. La conferencia en el CERN finaliza.

Función narrativa: Después de la incertidumbre y el misterio, los protagonistas presentan los resultados de su investigación que, a pesar de no ser lo esperado, confirman el final de la misión, todas sus angustias son disipadas. Este episodio encuentra correspondencia con la etapa narrativa denominada “La resurrección”.

Episodio 10 (88:52-96:38)

Desde: Martin Aleksa en casa con su familia conversa con su esposa sobre la detección de la Higgs, el evento es sólo una anécdota laboral más dentro del ámbito familiar. // Hasta: Dimopoulos asegura que las cosas que son menos importantes para sobrevivir son las que nos hacen humanos

Función narrativa: Se habla sobre la importancia del descubrimiento, se recuerda el gran logro que implica la detección de la partícula Higgs (para la ciencia, pero también para la humanidad). Dimopoulos, Arkani-Hamed, Dunford, Kaplan y Gianotti analizan los resultados arrojados por el experimento, esto no era nada de lo esperado, por lo tanto habrá que hacer ajustes en las teorías científicas (aunque no derriba lo trabajado durante décadas por los físicos). Los resultados son

temporales. Este episodio encuentra correspondencia con la etapa narrativa denominada “El retorno con el elixir”, es decir, el aprendizaje de esta misión.

Epílogo (96:39-96:47)

Por medio de *supers* se informa que el 10 de diciembre de 2013 se otorgó el Premio Nobel de Física a François Englert y Peter Higgs.

Créditos finales (96:48-99:11).

SECUENCIAS

Secuencia 1 (00:00-01:22)

Secuencia de apertura con los créditos iniciales de la producción y el título del documental.

Secuencia 2 (01:22-05:11)

Encuadres panorámicos muestran el exterior del CERN. // *Pan left* de alpes franceses al exterior del CERN (en súper: “CERN, European Organization for Nuclear Research”. // *Zoom in* a estatua de Shiva. // Interiores del CERN exhiben diversas tomas del LHC. // Primer plano de un hombre joven (en súper: “David Kaplan, físico teórico”) dentro de un elevador, habla con otra persona. Salen del elevador y caminan hasta un balcón donde se aprecia parte del LHC. // Mientras Kaplan observa el LHC, en voz *off* comienza a hablar sobre este y el inicio de operaciones. // Kaplan continúa su relato a cuadro, en primer plano, en su oficina; habla sobre las partículas que se pueden detectar en el LHC, y qué pasa si estas se detectan. Enfatiza que se trata de un momento único en la historia, pues un campo científico (la física) depende de un solo evento. // En encuadre de media figura, Kaplan y Gianotti se saludan y presentan en medio de las maquinarias del LHC (en súper: “Fabiola Gianotti. Líder del proyecto experimento ATLAS”). // En primer plano, Gianotti explica y comenta con Kaplan la importancia de la colaboración entre físicos teóricos y experimentales.

Función narrativa: Introducción al CERN y a dos personajes centrales en la historia. Kaplan será el presentador, quien introduzca y guíe el camino del espectador a lo largo de todo el relato. Por otro lado, Gianotti, en tanto jefa del principal experimento (ATLAS) también es presentada desde el principio, pues es una especie de mentora.

Secuencia 3 (05:06-07:22)

Aún con la imagen previa a cuadro (encuadre en plano americano con grado de angulación contrapicado de Gianotti y Kaplan conversando frente a una parte de la estructura del LHC), en *off* Kaplan comienza a relatar la historia de la construcción del LHC. // Plano medio de Kaplan en una conferencia, continúa su relato sobre la historia de construcción del LHC. // Plano abierto muestra un auditorio donde Kaplan brinda una conferencia (en súper: “Foro del Instituto de Física Aspen”). // Imágenes de *stock* muestran los inicios de la construcción del CERN, continúa narración en *off* de Kaplan y explica que la construcción comenzó a mediados de los años ochenta con la

colaboración de más de 10 mil personas de más de 100 nacionalidad diferentes, incluyendo países enemigos. // Imágenes diversas de los imanes superconductores, Kaplan brinda información sobre estos. // *Zoom out* de los servidores en el CERN, en *off* Kaplan dice que hay más de 100 mil computadoras conectadas a todo el mundo para distribuir la información, asegura que el internet fue inventado en el CERN para compartir datos. // Animación que describe la distribución de información desde el CERN hacia diversos puntos del globo terráqueo, en *off* Kaplan explica que el LHC iba a construirse en Texas. // *Stock* de imágenes de debates en la cámara estadounidense donde aparecen dos congresistas republicanos hablando sobre el gasto que implica un experimento que intenta comprender los orígenes del universo. // *Stock* de fotografías de las instalaciones abandonadas en Waxahachie, Texas. Continúa narración en *off* de Kaplan. // Plano medio de Kaplan en conferencia, asegura que es muy difícil para los físicos explicar el propósito de este tipo de experimentos que no tienen uso comercial o militar.

Función narrativa: esta secuencia tiene como propósito abordar a grandes rasgos la historia de la construcción del CERN, así como aportar datos que revelan la gran colaboración de países y científicos implicados; asimismo se informa sobre los obstáculos que atravesaron (la incompreensión por parte de los políticos en temas de ciencia).

Secuencia 4 (07:23-11:55)

Aún sobre la imagen anterior (Kaplan en conferencia) Kaplan explica en *off* la diferencia entre los dos tipos de físicos de partículas: los experimentales y los teóricos. // Imágenes varias de científicos trabajando en el CERN. // Plano americano de Kaplan escribiendo en un pizarrón fórmulas matemáticas (en súper: “David Kaplan. Universidad Johns Hopkins), explica en *off* en qué consiste el trabajo de los físicos teóricos como él, y la manera en que este se complementa con el de los físicos experimentales. // Plano americano de Kaplan y Dimopoulos conversando y caminando por un campus universitario, en *off* Kaplan explica que Dimopoulos es su mentor de la universidad y a quien le gusta resolver grandes enigmas en la física. // *Over shoulder* de Kaplan sentado en un salón donde Dimopoulos está de pie dando clase (en súper: “Savas Dimopoulos. Físico teórico Universidad Stanford). En *off* Kaplan explica que Dimopoulos tiene algunas de las más importantes teorías que serán probadas en el LHC. // En primer plano Dimopoulos explica que los físicos teóricos deben tener una habilidad artística pura para discernir las ideas buenas y elegantes, los problemas que son suficientemente interesantes y difíciles para resolver en un momento determinado. // Plano detalle de mano masculina y joven escribiendo fórmulas en el pizarrón // *Zoom out* de mano hasta plano americano de un hombre joven. // Plano detalle de con tenis juveniles, *pan left* hasta primer plano de Arkani-Hamed (en súper: “Nima Arkani-Hamed. Físico teórico. Instituto de Estudios Avanzados Princeton”). // Primer plano de Arkani-Hamed explicando la importancia del experimento del LHC. // Sobre imágenes de Arkani-Hamed escribiendo en un pizarrón durante una clase, Kaplan explica, en *off*, que Arkani-Hamed es la “estrella” de su generación. // *Pan left* de pizarrón a Arkani-Hamed trabajando en su escritorio (con los pies apoyados sobre este). // Primer plano de Arkani-Hamed explicando los problemas conceptuales notorios que existen en el modelo estándar de la física de partículas (propuesto desde

mediados de los años setenta). La posible solución de estas inconsistencias radica en la predicción teórica de la partícula Higgs (si esta no es detectada habría problemas conceptuales serios en la manera en que se ha comprendido la física hasta ahora).

Función narrativa: Esta secuencia tiene una función similar a la de un paréntesis gramatical, en el cual se explica al espectador la diferencia entre el trabajo que desempeñan los físicos teóricos y los experimentales, esto para comprender mejor el contexto de la historia que se está relatando (particularmente lo difícil que es explicar a quienes no son científicos, por ejemplo los políticos, la importancia de un experimento como el LHC). Asimismo se introduce a dos nuevos personajes: Dimopoulos y Arkani-Hamed, el primero explica cuan fundamental es resolver problemas teóricos en la física; y el segundo habla de la importancia que implica la detección de la partícula Higgs para el modelo estándar de la física de partículas.

Secuencia 5 (11:56-14:49)

Campo larguísimo de CERN y alrededores filmados desde un helicóptero (en súper: “La semana antes del primer haz en el LHC). // Imágenes y encuadres diversos de investigadores del CERN, entre ellos Gianotti. En *off*, Gianotti relata su llegada al CERN hace varias décadas cuando era estudiante de licenciatura. *Stock* de Gianotti en su juventud trabajando en el CERN. // Primer plano de Gianotti (en súper: “Fabiola Gianotti”) hablando sobre su experiencia de los años que ha pasado trabajando en el CERN. // Plano medio de Dunford explicando la gran expectativa de los científicos del CERN ante el lanzamiento del primer haz de protones, los compara con un grupo de niños de 8 años de edad, cuyo cumpleaños se acerca (en súper: “Monica Dunford. Estudiante de posdoctorado Experimento ATLAS”). // Imágenes varias de Dunford interactuando con sus colegas del CERN, en *off* explica su experiencia en este lugar; asimismo puntualiza la diferencia entre los físicos teóricos y los experimentales, y la razón por la cual ella prefirió pertenecer al segundo grupo. // Plano abierto de Aleksa hablando por teléfono, y con otros colegas, en francés y en alemán. En *off* Aleksa explica (en súper: “Martin Aleksa. Coordinador funcionamiento experimento ATLAS”) que si el experimento no arroja resultados que sean novedosos será una catástrofe para la física porque precisamente los investigadores buscan resolver, por medio de este experimento, varias de las preguntas que aún están abiertas.

Función narrativa: esta secuencia tiene la función de conocer a la comunidad de investigadores que trabajan en el CERN, Gianotti relata su primera impresión al llegar a este lugar varias décadas atrás. Asimismo conocemos a dos nuevos personajes: Dunford y Aleksa, la primera cuenta su experiencia como novata en el CERN y explica las razones por las que prefirió estudiar física experimental; el segundo remarca la importancia y las grandes expectativas alrededor del funcionamiento óptimo del experimento.

Secuencia 6 (14:47-16:17)

Primer plano de Dunford quien explica detalladamente en qué consiste el experimento: hacer chocar dos objetos. // Animación que se superpone a la imagen de Dunford a cuadro, en esta se

presenta un modelo de autos de juguete que colisionan, los diferentes componentes se separan, dos de las llantas giran y se convierten en una especie de átomo con protones en su interior. Esto se transforma en un gran círculo que se superpone a un mapa de la frontera franco-suiza y que emula la circunferencia del LHC, a lo largo de la cual giran dos protones en sentido inverso, se producen colisiones en cuatro puntos que corresponden a cuatro de los experimentos (ATLAS, LHCb, CMS y ALICE). En *off* Dunford explica en qué consiste el experimento ATLAS, que toma fotografías de cada una de las colisiones.

Función narrativa: La función narrativa de esta secuencia consiste en explicar con detalle, por medio de animaciones y gráficos, paso a paso en qué consiste el experimento a realizar en el LHC.

Secuencia 7 (16:12-20:52)

Aún sobre la imagen anterior, en *off* se escucha a Kaplan explicar que este experimento se puede comparar con la llegada del hombre a la Luna (debido al gran esfuerzo colaborativo internacional). // Primer Plano de Kaplan en conferencia. Explica que hay dos razones por las cuales se realiza este experimento: recrear las condiciones físicas posteriores al Big Bang (respuesta pública); e intentar comprender las leyes básicas del universo (verdadero interés de los físicos). // Animación: Big Bang y formación de un átomo donde se observan un protón, un neutrón y un electrón. Descubrimiento eventual de varias partículas sobre línea del tiempo. Aparecen diversas partículas que son acompañadas con fotografías de varios físicos que han descubierto numerosas partículas. Modelo estándar de partículas, estas son señaladas con iniciales, la partícula Higgs está al centro. Fotografía de Peter Higgs. Línea del tiempo que va desde el Big Bang hasta la actualidad. Colisión de partículas. A lo largo de toda la animación Kaplan explica, en *off*, en qué consiste el estudio de partículas; habla sobre el modelo estándar, la importancia de detectar la Higgs y las implicaciones de esto; finalmente explica cómo el experimento del LHC ayudará a detectar la Higgs. // Primer plano de Kaplan en conferencia respondiendo la pregunta de un miembro de la audiencia sobre la ganancia financiera de este experimento, lo cual no es posible saber; Kaplan explica que la ciencia básica no tiene un beneficio claro; así, el LHC podría no servir para nada, excepto para comprenderlo todo. La audiencia aplaude.

Función narrativa: una vez que en la secuencia anterior se ha explicado en qué consisten los experimentos del LHC, en esta secuencia se explica qué se va a detectar, para qué y de qué sirve realizar el experimento. Para explicar lo anterior, Kaplan primero detalla qué son las partículas, qué se sabe de ellas y qué falta por conocer. En este sentido habla de la partícula Higgs, cuya existencia es supuesta por los científicos, pero cuya detección aún no se ha logrado; el LHC podría ayudar a identificarla.

Secuencia 8 (20:51-22:50)

Aún con el audio de la imagen anterior (aplausos de la audiencia) en la siguiente escena se aprecia un *dolly in* a lo largo de los pasillos del CERN, que conducen a una puerta donde se encuentra la gran maquinaria del experimento ATLAS (en *off*, Dunford recuerda la primera vez que llegó al

CERN y vio el ATLAS) // Primer plano de Dunford explicando con gestos corporales su impresión ante el enorme tamaño del experimento ATLAS // Continúa *dolly in*, una puerta se abre y se aprecia el gran tamaño del ATLAS // Imágenes diversas del ATLAS que dan cuenta de su magnitud (*dolly in, tilt up, zoom out*, principalmente). La música, *in crescendo*, remite a grandeza.

Función narrativa: esta secuencia tiene la función de presentar visualmente con imágenes reales (y ya no sólo por medio de animaciones) el colosal tamaño del experimento ATLAS. Lo anterior se logra con base en el relato de Dunford sobre su primera impresión, y con la toma subjetiva en *dolly in* por los pasillos, y hasta el balcón que termina con la vista del mecanismo que mide aproximadamente 5 pisos. La música ayuda a acentuar la magnificencia del enorme aparato.

Secuencia 9 (22:50-30:26)

Time laps de amanecer en el exterior del CERN (en súper: “10 de septiembre, 2008” // en súper: “Día de la prueba del primer haz”). // Diversas imágenes de Dunford en su hogar, desayunando, vistiéndose, viajando en bicicleta hacia el CERN. // Exterior de instalaciones del CERN. // Plano abierto de reunión de investigadores al interior del CERN preparándose para el lanzamiento. // *Stock* de noticieros informando sobre el lanzamiento, pero también especulando sobre las consecuencias (absurdas) de lo que podría ocurrir al iniciar el experimento. // Primer plano de Gianotti hablando por teléfono, desmintiendo rumores propagados por los medios sobre el fin del mundo con el inicio del experimento. // *Stock* del CERN con diversas imágenes de los investigadores poco antes del lanzamiento. // Plano abierto de Lyn Evans, director del proyecto, en la sala de control con otros científicos, inicia la cuenta regresiva para apretar el botón y lanzar el primer haz de protones. // Plano detalle de monitores. // Primer plano de Evans haciendo un segundo conteo. Música de suspenso y aberración // Plano detalle del monitor, una luz parpadea. La música cambia, se vuelve festiva y alegre. // Plano abierto de investigadores aplaudiendo. // Imágenes diversas muestran la celebración de los científicos. // Primer plano de Mike Lamont (en súper: “Mike Lamont. Jefe de operaciones de colisión, LHC”) hablando sobre lo alentador de un lanzamiento exitoso. // Primerísimo plano de Dunford entusiasmada, asevera “we destroyed that shit!”. // Plano americano de Dimopoulos sentado en el escritorio de su oficina, habla por el altavoz del teléfono, alguien le informa que el experimento ya está en marcha, hay dos haces girando en direcciones contrarias; especulan sobre el número de vueltas completadas (un millón o diez millones, según la cuenta de *twitter* del CERN); Dimopoulos se muestra emocionado pero cauto. La música alegre continúa y al pasar a la siguiente imagen cesa abruptamente.

Función Narrativa: Los científicos ponen en marcha el experimento bajo la mirada de los medios, se muestra la manera en que estos últimos exageran o tergiversan las posibles consecuencias del experimento. Los científicos se aprecian excitados y felices por el inicio de las operaciones.

Secuencia 10 (30:27-34:28)

Plano medio de Arkani-Hamed en un restaurante, selecciona su comida en el monitor de una computadora (en súper: “Princeton, Nueva Jersey”). Sale del restaurante con el paquete de comida.

En *off* cuenta los orígenes iraníes de sus padres, quienes también son físicos y huyeron de Irán hasta Canadá por problemas político-sociales. // Planos medios y abiertos de Arkani-Hamed en su oficina escribiendo una presentación en una *tablet*, conversa con Kaplan. En *off* habla sobre sus grandes expectativas del experimento. // Plano abierto del exterior del CERN al anochecer. Plano detalle de una pantalla (en súper: “Experimento ATLAS. Celebración de comienzo”). // Diversas imágenes sobre el evento de celebración en un gran auditorio. Dunford habla sobre la convivencia de los cientos de investigadores del CERN. // Planos abiertos y planos medios de un número musical interpretado por un grupo de científicos que bailan a ritmo de rap cantando sobre el trabajo del experimento ATLAS. // Plano abierto que muestra una parte de los imanes superconductores. La música de rap se desvanece y cambia para dar lugar a una melodía de misterio y terror.

Función narrativa: se observa a los investigadores fuera de su ámbito laboral; Arkani-Hamed, por ejemplo, está en un restaurante, en *off* habla sobre sus padres, y abunda sobre sus intereses académicos. Por otro lado, los investigadores del CERN acuden a una fiesta donde bailan, cantan y celebran el inicio de su experimento. Aparecen detalles de imágenes desconcertantes de los imanes superconductores con un fondo musical que indica a que algo no marcha bien.

Secuencia 11 (34:29-37:25)

Plano abierto de una cabina de teleférico cruzando por los alpes franceses. Plano medio de Dimopoulos dentro de la cabina del teleférico con otras personas. En *off* Dimopoulos habla sobre sus orígenes griegos, su infancia en Turquía (en súper: “Alpes franceses”), en los años 60 sus padres se convirtieron en refugiados políticos; asegura que las contradicciones políticas lo motivaron a estudiar un área en la que no hubiera controversias político-sociales, donde “la verdad fuera absoluta”. // En primer plano Dimopoulos continúa hablando sobre su necesidad de saber la verdad, de probar las teorías que ha propuesto. // Detalle de una parte de los imanes superconductores. La música de suspenso y terror va *in crescendo* // Plano americano, cámara en mano sigue a Gianotti, quien entra a la oficina de Jenni (en súper: “Peter Jenni. Líder fundador experimento ATLAS”) quien le muestra gráficas en una computadora. // Plano medio de Gianotti hablando sobre su formación académica, no sólo en ciencia, sino en arte, música en particular. // Planos abiertos, medios, detalles de Gianotti tocando el piano. En *off* continúa su relato sobre las similitudes entre la física y la música. // Plano detalle de una estructura del imán superconductor. De nuevo, la música de suspenso y terror *in crescendo* (en súper: “(9 días después del primer haz)”), la imagen se vuelve borrosa.

Función narrativa: de nuevo se observa a los investigadores fuera de su ámbito laboral. Dimopoulos habla de su infancia y sus orígenes griegos, de su condición de refugiado. Gianotti también habla de su formación académica y artística, de sus intereses personales más allá de la ciencia. Asimismo, de nuevo aparecen detalles de imágenes de los imanes superconductores con un fondo musical que remite a que algo no marcha bien.

Secuencia 12 (37:25-39:16)

Panorámica de día en Suiza, se aprecia una rotonda por donde circulan automóviles. // Planos abiertos de exteriores del CERN. // Plano medio de Lamont mirando monitores // Plano detalle de monitores que comienzan a encender indicadores en rojo. // Una alarma comienza a sonar. // Planos abiertos y medios de Gianotti hablando por teléfono, luce seria y preocupada. // Plano medio de Dunford en el comedor, comiendo y conversando, recibe un mensaje en su móvil // Primer plano de Aleksa, acongojado advierte que la pérdida de helio es frustrante, explica que los imanes deben calentarse poco a poco para no romperlos, asegura que es necesario investigar y arreglar el problema. // Imágenes diversas de reuniones entre grupos de investigadores. En *off* Aleksa continúa relatando los sucesos. // Plano abierto de una persona que enrolla una pancarta que recuerda la fecha del lanzamiento del primer haz (10 de septiembre de 2008). // *Stock* de imágenes de noticieros informando la suspensión del experimento ante la fuga de helio líquido en los imanes superconductores. // Plano americano de Kaplan y otros colegas mirando estas noticias en una computadora. La música es lenta y afligida.

Función narrativa: se presenta por fin una explicación a las misteriosas escenas que mostraban el detalle de los imanes superconductores: hubo una fuga de helio y el experimento debe detenerse para arreglar el desperfecto. Se observa a los investigadores preocupados, decepcionados y organizándose para reparar el imprevisto.

Secuencia 13 (39:17-40:40)

Plano abierto, una camioneta con el logo del CERN se acerca a un edificio en medio del campo, ingresa por una reja de seguridad (en súper: “CERN planta 3”). // Plano medio de un par de hombres con cascos y gafetes esperando ingresar al complejo. Comienza música de misterio y terror. // Plano abierto de los hombres caminando por un pasillo largo hasta llegar a una entrada protegida, uno de ellos ingresa usando su ojo como identificación. // *Stock* de imágenes que revelan helio congelado adherido a los imanes. // *Over shoulder* de Lamont quien mira fotografías de la fuga de helio en su computadora. Conversa con otro investigador sobre el problema y las posibles soluciones, Lamont luce serio y preocupado ante la noticia de retirar al menos 20 imanes para la reparación.

Función narrativa: Se muestra al espectador el proceso de revisión del percance, así como las dimensiones del daño y se da un primer estimado del tiempo y trabajo necesario para la reparación. Lamont está preocupado por el tiempo que tomará arreglar el desperfecto.

Secuencia 14 (40:40-44:26)

Plano abierto, aérea de campus universitario (en súper: “Universidad de Stanford”). // Plano medio de Dimopoulos frente a la computadora trabajando en su oficina. En *off* comenta que detecta un sentimiento de pesimismo y desilusión entre su familia y amigos a consecuencia del cese del experimento. // Imágenes diversas de Dimopoulos preparando café, subiendo escaleras en su oficina. // Plano medio de un Arkani-Hamed molesto y frustrado, expresando que el grupo del

CERN no debió convocar a los medios para celebrar la puesta en marcha del experimento, sino hasta realmente tener algún resultado. // Planos abiertos y detalles de los imanes dañados en proceso de ser retirados (en súper: “2009”), el sonido ambiente es de martilleo, grúas mecánicas, y otras herramientas, poco a poco entra música de misterio y se mantiene en un nivel bajo. // Plano abierto de Lamont y otros investigadores sentados a la mesa durante una reunión, discuten el tiempo que tomará retirar, arreglar los imanes, y volverlos a colocar. El ambiente es serio y varios muestran rostros de consternación, lucen preocupados por la reacción que puedan tener los físicos experimentales. // Panorámica del campo, Dunford entra a cuadro trotando, en *off* explica que un proyecto a largo plazo requiere paciencia, equipara el experimento del LHC con una maratón; la paciencia es necesaria en la física y en los descubrimientos científicos en general. *Dolly* de Dunford trotando.

Función narrativa: en esta secuencia se muestra la actitud desmoralizada y frustrada de algunos científicos ante el cese del experimento. Asimismo se presenta la reunión en la cual un grupo de investigadores planea cómo y en cuánto tiempo se puede arreglar el desperfecto. Se habla de la paciencia como una característica necesaria del trabajo científico porque siempre habrá imprevistos.

Secuencia 15 (44:27-51:03)

Aún con el final de la narración *off* de Dunford, se muestra en plano medio a los hijos de Aleksa mirando el experimento que su padre les enseña. // Imágenes diversas de la familia de Aleksa, su esposa cocinando, él riendo con sus hijos. En *off* Dimopoulos comienza a disertar sobre la curiosidad. // Primer plano de Dimopoulos, continúa hablando de la curiosidad humana. // Plano detalle de ventana que muestra un encuadre aéreo de una pieza de arte construida con pedazos de azulejo de losa y granito con diferentes formas y tamaños (en súper: “Instituto para el estudio avanzado Princeton, Nueva Jersey”). Plano medio de Kaplan y Arkani-Hamed miran por la ventana hacia abajo (hacia donde está la pieza de arte), discuten si es arte o sólo restos de escombros. // Plano abierto de Kaplan y Arkani-Hamed en medio de la pieza artística mirando las piezas y cambiándolas de sitio. // *Dolly in* hasta *over shoulder* de Arkani-Hamed mientras lee la placa con las características de la pieza (autor, nombre de la obra y materiales). // Plano americano de Kaplan y Arkani-Hamed mirando la obra, *pan left* hasta la obra. En *off* Arkani-Hamed asevera que hay algo filosófico detrás de esta pieza, y que le molesta porque trata de encontrar el orden en algo que está muy desordenado. En *off* Kaplan comienza a hablar sobre esta necesidad de los científicos de encontrar un orden, patrones, simetría, lo asocia a la búsqueda de partículas. // Animación: mientras Kaplan y Arkani-Hamed continúan observando la pieza de arte, algunos pedazos de azulejo se levantan del suelo y se unen para conformar una figura piramidal sobre un fondo negro. La pirámide gira y se abre, dentro de ella se despliega el modelo estándar de átomos que se va completando como un rompecabezas. En *off* Kaplan sigue hablando sobre la necesidad de simetría que buscan los científicos, lo compara con el modelo estándar de partículas que está incompleto (porque falta detectar la Higgs e identificar otras partículas, o elementos, que aún no han visto, por ejemplo la materia oscura que, sin embargo, no es parte del modelo estándar), en la

animación se muestra una figura romboidal que representa la “materia oscura”, pero está fuera del modelo estándar, es una pieza que no encaja. La música es pausada y meditabunda. // Primer plano de Kaplan en su oficina, continúa su narración, asegura que esta pieza (la materia oscura) es una de tantas que aún no han encontrado, y que quizá forman parte de una teoría mucho más grande que va más allá del modelo estándar // Animación: alrededor del modelo estándar comienzan a aparecer otras piezas con forma de rombos, triángulos, que se acomodan alrededor del modelo estándar y poco a poco van formando una nueva figura que cubre toda la pantalla, los colores se transforman en negro y únicamente se aprecian las líneas de contorno. // Primer plano de Kaplan escribiendo en un pizarrón. En *off* comienza a hablar de la teoría de supersimetría: comenzó a desarrollarse en los años setenta, Dimopoulos fue uno de los primeros investigadores en estudiarla; Kaplan explica en qué consiste y de qué manera podría corroborarse. // Imágenes diversas de componentes electrónicos. // Plano medio de Dunford trabajando en su computadora de oficina. En *off* abunda sobre la supersimetría y la importancia que tiene para la comunidad científica (porque resuelve muchos problemas matemáticos del modelo estándar). Planos detalle de un cartón que presenta las diferentes partículas dentro de la supersimetría. En plano medio Dunford continúa su narración frente a cámara. // Plano secuencia de Dunford caminando entre pasillos con un casco, bata y un maletín de herramientas. Planos medios y detalles de Dunford arreglando componentes electrónicos dentro de un cuarto lleno de cables. En *off* explica que antes podía ir arreglada al trabajo, pero ahora sólo va con ropa cómoda para ensuciarse y arreglar cosas.

Función narrativa: en esta secuencia se muestra la curiosidad como una característica que ha conducido a los seres humanos a observar, plantear ideas y atreverse a pensar diferente. La curiosidad como motor de la creatividad, y la creatividad como elemento fundamental en el desarrollo de planteamientos científicos (como la teoría de la supersimetría para tratar de responder preguntas dentro del modelo estándar).

Secuencia 16 (51:04-58:25)

Planos abiertos y medios de Arkani-Hamed caminando por un patio del campus universitario. En *off* habla sobre preguntas que se plantean los físicos como ¿por qué el universo es grande?; asimismo habla sobre el concepto de “constante cosmológica”. // Animación: fórmulas matemáticas que aparecen sobre la imagen de Arkani-Hamed, fundido a imágenes del universo, se aprecian galaxias y diversos astros. Arkani-Hamed continúa narración en *off* sobre la idea de que el universo se está expandiendo a un ritmo mucho más lento de lo predicho hace varias décadas; abunda sobre las inconsistencias que existen en las teorías planteadas. // Diversas imágenes de Arkani-Hamed caminando desde el patio hasta la entrada del edificio, entra a su oficina. // Contrapicada del exterior de la oficina, a través de un gran ventanal se aprecia a Arkani-Hamed caminando de un lado a otro, meditabundo; continúa su narración en *off* sobre la posibilidad de que algunos de los planteamientos en física se estén comprendiendo de manera equivocada. La música es pausada. // Detalle de la luna llena en medio de la oscuridad. En *off* Dimopoulos cuenta las historias bíblicas que le contaba su madre, sobre la eternidad y el miedo que sentía ante esta. // Primer plano de Dimopoulos // Collage de imágenes de una cúpula eclesiástica, del universo. //

Plano medio y planos detalle de Dimopoulos trabajando en su computadora y escribiendo fórmulas en una libreta. // Plano medio de Arkani-Hamed hablando sobre los planteamientos científicos para explicar las inconsistencias o los misterios sobre el universo. // Animación: fórmulas matemáticas se acercan y alejan sobre un fondo que remite al universo. *Zoom out* de animación de vía láctea hacia otras galaxias, y hacia otros universos. En *off* Arkani-Hamed explica la idea del multiverso. La animación termina con una fotografía satelital del planeta Tierra. // Plano medio de Arkani-Hamed, continúa explicando los planteamientos divergentes de la ciencia y la explicación que aboga por un creador de todo cuanto conocemos. La música lenta pero un tanto misteriosa va *in crescendo*. // Primer plano de Kaplan abundando sobre la idea que plantea Arkani-Hamed sobre las leyes de la física que son diferentes en diferentes partes del multiverso, y que lo medido en los experimentos no son grandes misterios de la naturaleza, sino accidentes azarosos en nuestro universo (esto incluye la Higgs) que no tienen explicación. Si esto fuera cierto sería el final de la física. // Imágenes diversas de Arkani-Hamed saliendo de su casa, sube al auto y conduce. En *off* explica que en los últimos 400 años ha predominado una idea de simetría, simplicidad y patrones en el funcionamiento de la vida; por otro lado está la idea del multiverso, que remite a caos y distancias enormes. Asegura que la respuesta a estas dos posibilidades radica en el LHC. Animación del universo. La música que remite a misterio va *in crescendo* hasta saturar completamente el audio // Plano abierto de componentes del LHC.

Función narrativa: en esta secuencia se plantea y explica a grandes rasgos la idea del multiverso y sus implicaciones para la teoría física que se ha venido desarrollando en los últimos 400 años.

Secuencia 17 (58:26-59:21)

Planos medios y detalles de investigadores en la sala de control del CERN (en súper: “2010”), miran monitores y comentan detalles técnicos. En plano americano Mike Lamont revisa documentos, una colega se acerca a saludar, bromea con él sobre su salud (en súper: “¿aún no te da un infarto? ¿ninguna úlcera?”), Lamont responde: “Sí, tengo una úlcera. Tengo una grave adicción al alcohol”), la mujer ríe, mira en dirección a la (el) camarógrafa(o) y pregunta “no están grabando esto ¿verdad?”. // Planos medios y detalles de investigadores mirando monitores y dialogando en italiano, Lamont bromea con ellos. En *off* Lamont explica que los haces están girando de nuevo, y que las reparaciones de los imanes están funcionando adecuadamente, ahora hay que aumentar la velocidad de los haces y hacerlos colisionar.

Función narrativa: el problema se ha resuelto, todo está listo para volver a poner en marcha el experimento.

Secuencia 18 (59:22-62:03)

Panorámica de un tractor recorriendo un campo agrícola. A lo lejos se aprecia el CERN (en súper: “29 de marzo de 2010. Primer intento de colisión de alta energía”). // *Travelling* de Dunford en bicicleta llegando al CERN. En *off* habla sobre los orígenes del proyecto ATLAS en 1989 y el sueño de varios investigadores que pensaron en este momento que podría cambiar la física desde

hace 19 años. // Detalles de placas con los nombres de los circuitos automovilísticos al interior del CERN y que recuerdan a físicos destacados como “Route Marie Curie”, “Route Schroedinger”, “Route E. Fermi”, y “Route R.P. Feynman”. // Plano abierto de exterior de un edificio del CERN, afuera hay una camioneta de una televisora local. // Plano medio de conjunto de monitores y operadores de controles televisivos. // Planos abiertos de investigadores en la sala de control del CERN observando y verificando detalles antes del evento. En *off* Lamont comenta que aquello que podía salir mal ya salió mal, y por eso algunos investigadores han discutido la posibilidad de realizar las colisiones durante la noche y anunciarlo a la mañana siguiente a los medios de comunicación. // Diversas imágenes de Gianotti, Aleksa y otros investigadores en una sala de juntas a punto de comenzar una reunión, se notan preocupados y suspicaces. // Plano medio de Gianotti conversando con una colega (por medio de subtítulos se aprecia su conversación, Katie: “El problema es que los invitaron a presenciar la PRIMERA colisión, no LAS colisiones”, Gianotti: “Katie, Katie, Katie, el problema es que si fallamos frente a ellos será un desastre, será (...) la razón por la que haríamos esto en la noche no fue...”, Katie: “estarán muy enojados si llegan y ya lo hicimos”), ambas dejan de conversar ante la súbita llegada de un coordinador, la junta inicia. // Primer plano de Aleksa, asegura que lo que todos desean es realizar la colisión durante la noche, y mostrarla a los medios por la mañana, asegura que Gianotti quiere esto. // Plano medio de Gianotti en la reunión visiblemente preocupada. En *off* Aleksa continúa el relato, asevera que hoy en día los medios quieren ver todo, incluyendo los riesgos. // Plano medio de Dimopoulos con un colega, tratando de mirar en la computadora la transmisión en vivo del CERN.

Función narrativa: Esta secuencia da cuenta de las grandes expectativas del experimento ATLAS. Asimismo se plantean las reservas que los científicos muestran ante la presencia de los medios de comunicación. Es notorio el temor que tienen a fallar frente a los medios.

Secuencia 19 (62:04-66:26)

Panorámica del exterior del CERN desde un helicóptero (en súper: Ginebra, CERN – 30 de marzo de 2010 07:00-09:00 GMT). En *off* se escuchan los conductores de diversos conductores de medios de comunicación reportando desde el CERN. Imágenes diversas de investigadores en la sala de control. // Plano medio de Gianotti hablando por micrófono para algún medio, explica los resultados que se pueden obtener a partir de este experimento. // Plano medio de Dimopoulos y un colega mirando la sala de control del CERN a través de la computadora. En *off* se escucha la narración de la anfitriona del CERN quien describe los preparativos necesarios para lograr la colisión. Imágenes diversas de planos abiertos, medios y detalles de los investigadores revisando monitores. // Primer plano de Dunford conversando con un colega, bromea sobre lo que hubiera ocurrido si los medios hubieran estado en el momento en que Thomas Edison inventó la bombilla y no hubiera podido encenderla. // Diversas imágenes de decenas de científicos en la sala de control aguardando el momento de la colisión. // Plano medio de Lamont explicando que los dos haces de protón ya están girando en direcciones opuestas, y ya se ha retirado la separación entre ellos. // Detalle de monitor donde se aprecian gráficas para cada uno de los cuatro experimentos (ATLAS, ALICE, CMS y LHCb). Comienza a sonar, casi imperceptiblemente, la *Sinfonía n° 9*

Op. 125 en Re menor (coral) de Beethoven con un ritmo acelerado. // Primer plano de Gianotti en medio de los investigadores, observando cuidadosa y expectantemente los monitores. // Plano detalle de las gráficas en el monitor. En *off* la anfitriona del CERN explica el contenido de la gráfica. La música continúa. // Diversas imágenes de planos medios y detalles del rostro expectante de varios investigadores // Travelling acelerado que corre a lo largo de los tubos por donde viajan los haces de protón. El volumen de la música se incrementa // Animación: se imita la colisión de dos haces luminosos, uno es rojo y el otro azul. // Plano detalle del monitor donde aparece la numeración en ceros (lo cual indica que los haces han chocado). Otros planos detalle de diversas imágenes de las computadoras. En *off* se escucha la algarabía de los investigadores. La *Sinfonía n° 9 Op. 125 en Re menor (coral)* de Beethoven alcanza su punto climático en el cuarto movimiento. // Planos abiertos de los investigadores celebrando, ríen, aplauden, se abrazan. // Detalles de las imágenes de la colisión. // Animación de colisiones. La música continúa. Una colisión se transforma en un modelo de órbitas alrededor del sol, estas se transforman en una luna observada a través del telescopio, *zoom out* hasta imagen de hombres escuchando a Galileo Galilei. // Planos abiertos y detalles de investigadores festejando en el CERN. // Animación: pintura de la noche estrellada de Van Gogh, *tilt up* a gráficos de la colisión. // Planos medios de científicos del CERN celebrando. // Animación: sistema solar, órbitas de los planetas se transforman en líneas de partituras donde aparecen notas musicales, se transforma en la doble hélice de ADN, se transforma en vitrales eclesiásticos. La música se detiene abruptamente. // Plano medio de Dimopoulos y un colega observando la transmisión en su computadora

Función narrativa: Tiene lugar un segundo momento importante: la colisión de los haces de protón bajo la mirada incisiva de los medios de comunicación. Los científicos muestran su miedo a fallar frente a los medios, afortunadamente todo sale bien y celebran este primer logro.

Secuencia 20 (66:27-68:04)

Animación: a partir de la colisión dentro del túnel, una serie de haces ingresan a una caja, un haz asciende por un tubo y viaja hasta el centro de cómputo, es procesado por los servidores del CERN, de ahí salen líneas hacia fuera del globo terráqueo y trazan trayectorias hacia diferentes países del mundo. Música vibrante. // Primer plano de Dunford visiblemente entusiasmada, habla sobre la gran cantidad de datos producto de las numerosas colisiones // Imágenes diversas con planos abiertos y detalles de los cables y los servidores. // Animación: mapa con división política, líneas salen de la frontera franco-suiza y se dirigen a diversas partes del continente europeo (la transmisión es de doble vía). // Diversas imágenes de investigadores exponiendo ante sus colegas datos, gráficos; escribiendo frenéticamente en sus computadoras. Continúa la música vibrante. // Primer plano de Dunford explica que todo el personal en los diferentes experimentos están absortos trabajando con los datos arrojados por las numerosas colisiones.

Función narrativa: esta secuencia expone la importancia de los datos y la gran cantidad de personas que trabajan para interpretarlos, se aprecia que el trabajo científico es realizado por numerosas personas alrededor del mundo y en constante colaboración.

Secuencia 21 (68:05-74:52)

Plano abierto de Arkani-Hamed y colegas comiendo en un restaurante mientras comentan que el experimento parece ir bien y que los datos continúan circulando (en súper: “2011”), se preguntan en qué momento comenzarán a escuchar rumores; bromean sobre el hecho de que podrían escuchar noticias primero en *arXiv*, *facebook* o *twitter*. // Primer plano de Kaplan sentado en su cama, asienta que la fecha es 7 de agosto de 2011 y ha ocurrido algo importante, el primer conjunto de datos presentado a finales de julio refleja algunos detalles que podrían interpretarse como un bosón de Higgs. Música vivaz. // Planos abiertos y medios de investigadores reunidos en el CERN en una junta. El relato de Kaplan continúa en *off* y la música vivaz en el fondo. // Plano abierto del exterior del aeropuerto de Ginebra, se observa a Dimopoulos salir con su maleta. Continúa la música vivaz. // Primer plano de Aleksa hablando sobre las reuniones con sus colegas y las revisiones de datos que ha realizado. Continúa la música vivaz. // Plano medio de Dimopoulos escribiendo diagramas en un pizarrón, un conjunto de colegas lo escuchan y observan atentamente. La música vivaz se detiene. En *off* Dimopoulos explica que la masa (el peso) de la Higgs puede dar una pista sobre el siguiente paso. // Primer plano de Kaplan explicando que si la masa de la Higgs es más liviana es consistente con algunas de las características del modelo estándar que han estado buscando. // Animación: gráfica en la cual se observa la masa del Higgs. Kaplan continúa la narración en *off*, explica que si la Higgs tiene un peso de alrededor de 115 veces la masa del protón (o sea, 115 GeV), esto concuerda con las propuestas de la supersimetría. Pero si la masa es de 140 GeV, se asocia con teorías que se apoyan en el multiverso. // Plano abierto de investigador mostrando gráficos durante una reunión, señala un pico en el gráfico. En *off* Kaplan señala que los datos arrojan que la masa es cercana a 140 GeV. Detalle de la palabra “caos” y su definición reflejada en la pantalla durante la conferencia. Kaplan continúa en *off* explicando que el problema con el multiverso es que dice que la Higgs quizá sea la última partícula detectada, si esto es así entonces muchas cosas no tendrían explicación (como la materia oscura o la masa de la Higgs) porque esta información estaría en otros universos, sería el final del camino. // Primer plano de Kaplan, continúa su narración visiblemente estupefacto. // Planos medios y primeros planos de Aleksa y Dunford haciendo suposiciones sobre la supersimetría y el peor escenario posible. // Plano medio de Barbieri escribiendo en el pizarrón y charlando con Dimopoulos y otro colega sobre el peso de la Higgs y las implicaciones de esto (en súper: “Ricardo Barbieri. Físico teórico Universidad de Pisa”). En primer plano, Barbieri le cuenta a Dimopoulos (en súper): “sigo diciéndole a los estudiantes que es mucho mejor estar en su situación que en la mía, en la que pasé 40 años investigando nada, nada ¿entiendes?”, Dimopoulos ríe dice que sólo son 30 años en su caso, Barbieri no ríe, se nota apesadumbrado y comenta (en súper): “mi conciencia está más o menos bien, luché todo el tiempo. Pero, juzgando desde afuera da un poco de pena”, Dimopoulos coincide y dice que tendrán que esperar un par de años para tener una segunda oportunidad, Barbieri lo interrumpe y responde duramente (en súper): “tu, yo desapareceré (dentro de dos años) para entonces ya me habré retirado”, Dimopoulos intenta aligerar el tema y le asegura que seguirá trabajando duro, pero Barbieri continúa contrariado, Dimopoulos intenta animarlo diciéndole que a pesar de su retiro podrá conocerá la verdad. // Planos detalle y primeros planos de Dimopoulos preparando una taza de café, mientras habla sobre

las diferencias entre hacer café (rápido) y la investigación en física (que requiere tiempo, en su caso 30 años para “conocer la verdad”); asegura que “ir de fracaso en fracaso, con el entusiasmo intacto es el gran secreto para el éxito”.

Función narrativa: Esta secuencia comienza mostrando la gran expectativa de los científicos ante la espera de los primeros datos que arroje el experimento. El primer informe indica que los datos parecen confirmar un peso de la Higgs que favorece las teorías del multiverso, de manera que hay revuelo, incertidumbre y desconcierto en la comunidad científica. Se muestra una conversación entre dos veteranos del campo, uno de ellos entusiasta y paciente, el otro preocupado y apesadumbrado ante el panorama que parece indicar que lo que ha estudiado durante los últimos 40 años es incorrecto. Esta secuencia muestra el carácter cambiante del trabajo científico.

Secuencia 22 (74:50-77:23)

Plano medio de Kaplan informando que ha desaparecido el indicio de que la Higgs pesaba 140 GeV. // Animación: gráfica donde se observa la masa de la Higgs sobre fondo negro, en donde aparecen imágenes que imitan colisiones. En *off* Kaplan continúa su relato aseverando que los nuevos datos han modificado lo que parecía ser el peso en 140, abunda sobre el método estadístico que emplean para medir y saber que lo que están midiendo es confiable. Concluye diciendo que, por lo tanto, aún cabe la esperanza de que el peso de la Higgs sea de 115 GeV, lo cual, recuerda, favorece la teoría de que debe haber nuevas partículas, como en la supersimetría (de lo contrario el universo sería inestable). // Plano abierto de la luna a mitad de la noche. // Plano abierto de un campus universitario. Primer plano de Arkani-Hamed, comenta las bondades de esta institución (por su tranquilidad y silencio) para trabajar y teorizar. // Plano americano de Kaplan y Arkani-Hamed jugando ping pong en una sala de juegos. Simulan una competencia entre la supersimetría y el multiverso; ambos ríen y se divierten. En *off* Arkani-Hamed comenta que cualquiera que sea el resultado del experimento tendrá una repercusión importante en el campo de la física; asimismo se muestra ansioso por conocer la masa de la Higgs. Música amena.

Función narrativa: los primeros datos arrojados por el experimento parecen no favorecer las expectativas de los científicos, por lo tanto hay incertidumbre, nerviosismo y ansiedad. Esta secuencia genera expectativa por conocer el resultado final del experimento.

Secuencia 23 (77:24-78:52)

La música amena de la secuencia anterior continúa sonando. Planos detalle de diversas notas periodísticas en los portales web de varios periódicos prestigiosos que anuncian nuevos datos sobre la partícula Higgs que se mantienen en secreto. En *off* Kaplan asegura que antes de lo pensado hay noticias sobre otro anuncio que tendrá lugar en una conferencia en el CERN. // Plano americano de Gianotti en el interior del campus del CERN, cruzando una avenida, va hablando por teléfono. El relato en *off* de Kaplan continúa. // Primer plano de Dimopoulos se muestra entusiasmado mientras confirma que faltan 18 horas para el anuncio del CERN, asegura que viajará hasta ahí. // Primerísimo plano de Kaplan conduciendo durante la noche (en súper: “3 de

julio de 2012”), informa que va manejando hacia Princeton para encontrarse con Arkani-Hamed y otros investigadores para mirar el informe de datos del CERN a las 9:00 am, hora de Ginebra (3:00 am en Estados Unidos).

Función narrativa: aparece una luz de esperanza que desmiente el riesgo presentado en el episodio pasado, la expectativa y el suspenso aumentan previo al anuncio del CERN.

Secuencia 24 (78:53-88:51)

Panorámica del exterior del CERN durante la noche. Comienza música que genera expectativa. // *Zoom in* a estatua de Shiva durante la noche // *Pan left* de plano abierto de luna llena en la oscuridad hasta interior de vestíbulo del CERN. // Plano abierto de numerosos estudiantes sentados a lo largo de un pasillo conversando animadamente (en súper: “Pasillo del auditorio del CERN. 4 de julio de 2012 4am”). // *Tilt down* de pancarta que anuncia el evento de actualización que tendrá lugar ese día. // Diversas imágenes de estudiantes y científicos ingresando al auditorio del CERN. // Diversas imágenes de investigadores y estudiantes dentro del auditorio del CERN. // Plano abierto de auditorio en Princeton, varios investigadores sentados esperan mirar por medio de un proyector la conferencia del CERN (Arkani-Hamed y Kaplan tienen dificultades para conectar la computadora y escuchar lo que ocurre). // Plano abierto, *zoom in* a Peter Higgs entrado al auditorio del CERN, la audiencia aplaude exaltadamente (en súper: “Peter Higgs”). // Plano medio de Dunford y Aleksa bromea sobre el lugar donde se sienta Higgs (a tres filas del escenario) “ni siquiera Peter Higgs pudo conseguir un buen lugar”. // Plano abierto de Heuer frente a la audiencia dando la orden del día para la presentación (en súper: “Rolf-Dieter Heuer. Director General CERN”). // Planos abiertos y medios de Joe Incandela presentando los resultados del proyecto CMS. // Planos abiertos y detalles de Dimopoulos llegando tarde a la presentación, no alcanza a entrar al auditorio. // Primer plano de Higgs observando impávido la presentación. // Planos abiertos y medios de varios investigadores afuera del auditorio del CERN, observando la conferencia por sus computadoras. // Planos medios y detalles de Arkani-Hamed y Kaplan solucionando dificultades técnicas (logran tener audio) desde el auditorio en Princeton. // Plano detalle de conclusiones de la presentación del proyecto CMS, donde se aprecia: “hemos observado un nuevo bosón con una masa de 125.3 ± 0.6 GeV, con 4.9 sigmas de significación”. // Plano abierto de la audiencia aplaudiendo. // Plano medio de Arkani-Hamed y Kaplan escuchando el resultado y mirando sus escritos. // Plano abierto de Gianotti iniciando su presentación. // Diversas imágenes de investigadores dentro del auditorio y fuera, también en Princeton, mirando y escuchando atentamente, en ocasiones asintiendo con la cabeza y sonriendo. // *Zoom in* a Higgs mientras escucha a Gianotti (sigue impávido). // Primer plano de Kaplan y Arkani-Hamed lanzando miradas de complicidad. Comienza a sonar música que genera expectativa y alcanza primer plano, mientras que la explicación de Gianotti se va a segundo plano. // Plano detalle de gráficas explicadas por Gianotti. La música sigue en *crescendo*. // Plano medio de Gianotti presentando resultados finales. La música baja el volumen y de nuevo la explicación de Gianotti está en primer plano. // Plano detalle de gráficas explicadas por Gianotti, en *off* asegura que detectaron una partícula, con un exceso de significación de 5 sigmas, con peso de 126.5 GeV. //

Plano abierto de audiencia aplaudiendo. // Primer plano de Gianotti sonriendo. // Plano medio de Arkani-Hamed y Kaplan aplaudiendo y riendo. // Primer plano de Higgs aplaudiendo lentamente mientras saca un pañuelo seca sus lágrimas. // Plano medio de Heuer asegurando a la audiencia que lo han logrado (detectar la Higgs). // Varios investigadores se ponen de pie y la audiencia continúa aplaudiendo. En *off* se escuchan las voces de Gianotti y Heuer haciendo notar que Peter Higgs se encuentra en la audiencia, lo instan a hablar. // Plano medio y primeros planos de Higgs felicitando a los investigadores, asegura que para él ha sido increíble vivir para ver este momento. // Diversas imágenes de investigadores aplaudiendo, abrazándose, riendo. // Plano medio de Arkani-Hamed en el auditorio de Princeton gritando “encontramos el Higgs”, mientras ríe. Aparece música festiva. // Diversas imágenes de investigadores aplaudiendo, abrazándose, riendo. En *off* se escucha a presentadores de noticias informando que los investigadores encontraron la Higgs. // Plano detalle de portadas de los principales diarios internacionales. // Planos medios de Gianotti sonriente sale del auditorio y las personas la felicitan. La música festiva se detiene abruptamente.

Función narrativa: finalmente los resultados finales son presentados, la Higgs ha sido detectada (aunque con una masa que no se esperaba). Hay celebración y júbilo en la comunidad científica, décadas de esfuerzo en común por fin han rendido frutos: se ha encontrado la Higgs.

Secuencia 25 (88:52-96:37)

Diversas imágenes de Aleksa y su familia comiendo, él y su esposa comentan el gran acontecimiento del día que dio la vuelta al mundo. En *off* Dimopoulos comenta que experimentó un sentimiento de orgullo al momento en que anunciaron la detección del Higgs, no sólo como científico, sino como parte de la humanidad. // Primer plano de Dimopoulos continúa su relato; asegura que es increíble que los humanos hayan logrado esto, habla sobre el poder de la mente humana. // Imágenes diversas de Dimopoulos caminando por los pasillos de su universidad, trabajando en su computadora. En *off* continúa su relato (le parece increíble que las leyes de la naturaleza puedan escribirse en un pedazo de papel) // Plano detalle de animación en computadora de Dimopoulos. En *off* continúa explicando que la masa de 125 GeV del Higgs indica que no prefiere ni el multiverso ni la supersimetría. // Primer plano de Dimopoulos explicando que el resultado no excluye (pero tampoco confirma) ninguna de las teorías que ha empleado a lo largo de su carrera profesional; y hasta que se hagan nuevas mediciones con un LHC mejorado, no será posible afirmar nada determinante. // Diversas imágenes de Arkani-Hamed hablando entusiasmado ante una audiencia en un salón de clases. En *off* relata que, por un lado el Higgs completa la teoría física más exitosa pero, por otro lado, abre la puerta a grandes paradojas que deben analizar. // Diversas imágenes de Dunford practicando remo. En *off* explica que no se siente decepcionada por el resultado (ambiguo), el LHC necesita apagarse, esperar dos años para ser mejorado y volver a realizar los experimentos. // Diversas imágenes de Kaplan conduciendo su auto, asegura que con el peso de 125 GeV todos sus modelos de supersimetría quedan descartados, esta masa marca un punto crítico para el destino del universo. // Animación del universo, se aprecian varias galaxias. *Zoom in* y poco a poco aparece el modelo estándar de la física, continúa el *zoom in* hasta que el

centro del modelo (la Higgs) ocupa la pantalla completa. En *off* Kaplan explica que si no aparecen nuevas partículas, entonces la Higgs es inestable y temporal, habla sobre las implicaciones de esto, enfatiza el hecho de que la Higgs sea el centro del modelo, pero también la posibilidad de que sea lo que destruye todo. Transición de partícula Higgs hasta plano abierto de estatua de Shiva al atardecer. La narración en *off* de Kaplan continúa: la Higgs es creadora y destructora. Pero está la opción de que se encuentren nuevas partículas (en cuyo caso lo anterior sería desechado); por lo tanto falta mucho trabajo por hacer. // *Tilt down* del experimento ATLAS. *Pan right* de la maquinaria hasta plano medio de Gianotti observando ese gran armatoste. En *off* cita una frase de *La divina comedia* de Dante: “no nacimos para vivir como animales, sino para buscar el conocimiento y la virtud”. *Zoom in* desde plano medio hasta primer plano de Gianotti hablando a cámara. El experimento ATLAS está detrás de ella. // Mientras Gianotti continúa su narración en *off*, se muestra a cuadro *stock* de la película de Werner Herzog con planos detalle de pinturas rupestres en las cuevas de Chauvet (en súper: “Cueva de los sueños olvidados”). Gianotti asegura que la ciencia y el arte son igualmente importantes en tanto necesidad de la humanidad. // Plano medio de Arkani-Hamed y Dimopoulos caminando por las calles de Nueva Jersey. Arkani-Hamed le comenta a Dimopoulos que vio una película de Herzog sobre una cueva descubiertas en Francia, con caballos, bisontes, rinocerontes y leones pintadas en su interior. *Stock* con escenas del documental de Herzog. Música de aventura y descubrimiento. // Plano medio de Arkani-Hamed escribiendo en el pizarrón. En *off* Kaplan asegura que en la exploración de la ciencia hay un grupo de personas que van más allá de las reglas y muestran a los demás lo que está allá afuera, descubren algo // Animación: Universo con galaxias, fundido a imagen de colisiones. En *off* Dimopoulos se pregunta por qué los humanos hacemos ciencia y arte, asegura que las cosas que son imprescindibles para nuestra supervivencia son aquellas que nos hacen humanos. La imagen se congela y desaparece en el fondo de la imagen que ilustra la colisión. La música cesa.

Función narrativa: a pesar de que la misión se ha cumplido, el resultado no es lo que se esperaba (ya que la masa de la Higgs no confirma ni la teoría del multiverso ni la supersimetría), de manera que es necesario continuar haciendo experimentos. Los protagonistas ratifican su sensación de orgullo y felicidad ante los resultados, y se muestran optimistas ante el hecho de que se requiere mayor información. La comparación final de ciencia y arte apela a la creatividad y al cambio.

Epílogo y créditos finales (96:38-99:11)

Sobre la imagen de colisión aparece la siguiente información en súper: “El 10 de diciembre de 2013, el premio Nobel de Física fue entregado a François Englert y Peter Higgs”. La música es tranquila con algunas notas alegres. Aparecen los créditos finales.

Capítulo 3, Segunda sección:

INTERVENCIONES DE PROTAGONISTAS

David Kaplan

(03:14-04:29)

La máquina más grande va a comenzar operaciones. Kaplan presenta el LHC y su importancia en el campo de la física.

(05:06-08:45)

Kaplan explica la historia de la construcción del LHC, la diferencia entre físicos teóricos y experimentales, presenta a Dimopoulos y el trabajo que realiza.

(10:27-10:44)

Kaplan presenta a Arkani-Hamed y el peculiar trabajo que ha realizado en su joven carrera como físico teórico.

(16:14-20:48)

Kaplan explica que este experimento se puede comparar con la llegada del hombre a la Luna (debido al gran esfuerzo colaborativo internacional). Explica las dos razones por las cuales se realiza este experimento: recrear las condiciones físicas posteriores al Big Bang (respuesta pública); e intentar comprender las leyes básicas del universo (verdadero interés de los físicos). Kaplan detalla (con la animación 4 a cuadro), los pormenores del estudio de partículas; habla sobre el modelo estándar, la importancia de detectar la Higgs y las implicaciones de esto; finalmente detalla cómo el experimento del LHC ayudará a detectar la Higgs. También responde la pregunta de un miembro de la audiencia sobre la ganancia financiera de este experimento, lo cual no es posible saber; Kaplan explica que la ciencia básica no tiene un beneficio claro; así, el LHC podría no servir para nada, excepto para “comprenderlo todo”.

(46:34-48:42)

Kaplan habla de la necesidad de los científicos por encontrar orden, patrones, simetría, y lo asocia a la búsqueda de partículas. Explica que el modelo estándar de partículas está incompleto (porque falta detectar la Higgs e identificar otras partículas, o elementos, que aún no han visto, como la materia oscura que, sin embargo, no es parte del modelo estándar), quizá haya partículas que forman parte de una teoría más grande que incluye al modelo estándar. Una de las teorías más populares es la supersimetría, comenzó a desarrollarse en los años setenta; Dimopoulos fue de los primeros investigadores en proponer teorías sobre esta, asegura que es la mejor suposición que existe (o que podría existir) hasta ahora, su corroboración requiere descubrir otras partículas.

(56:45-57:18)

Kaplan abunda sobre la idea de Arkani-Hamed sobre las leyes de la física que son diferentes en diferentes partes del multiverso, y que lo medido en los experimentos no son grandes misterios de

la naturaleza, sino accidentes azarosos en nuestro universo (esto incluye a la Higgs), que no tienen explicación. Si esto fuera cierto sería el final de la física como se ha estudiado en la actualidad.

(69:02-69:41)

Kaplan sentado en su cama, asienta que la fecha es 7 de agosto de 2011 y ha ocurrido algo importante: el primer conjunto de datos presentado a finales de julio refleja algunos detalles que podrían interpretarse como un bosón de Higgs. Se muestra emocionado (“... it is fucking cool right now”).

(70:10-72:06)

Kaplan explica que la masa (el peso) de la Higgs puede dar una pista sobre el siguiente paso; es decir, si la masa de la Higgs es más liviana entonces es consistente con algunas de las características del modelo estándar que han estado buscando (lo anterior es apoyado con animaciones a cuadro). Kaplan detalla que si la Higgs tiene un peso de alrededor de 115 veces la masa del protón (o sea, 115 GeV) concuerda con propuestas de la supersimetría. Pero si la masa es de 140 GeV, se asocia con teorías que se apoyan el multiverso. Kaplan señala que los datos arrojan que la masa es cercana a 140 GeV; explica que el problema con el multiverso es que dice que la Higgs quizá sea la última partícula detectada, si esto es así entonces muchas cosas no tendrían explicación (como la materia oscura o la masa de la Higgs) porque esta información estaría en otros universos, sería el final del camino. Luce consternado y desconcertado.

(74:51-76:20)

Kaplan informa que ha desaparecido el indicio de que la Higgs pesaba 140 GeV (a cuadro aparecen animaciones 13 y 14), asevera que los nuevos datos han modificado lo que parecía ser el peso de 140 GeV, abunda sobre el método estadístico que emplean para medir y asegurar que lo medido es confiable. Concluye diciendo que aún cabe la esperanza de que el peso de la Higgs sea de 115 GeV lo que, recuerda, favorece la teoría de la supersimetría.

(77:34-77:46)

Kaplan asegura que antes de lo pensado hay noticias sobre otro anuncio que tendrá lugar en una conferencia en el CERN.

(78:10-78:52)

Kaplan conduce su auto durante la noche (en súper: “3 de julio de 2012”), informa que va manejando hacia Princeton para encontrarse con Arkani-Hamed y otros investigadores para mirar el informe de datos del CERN que ocurrirá el día siguiente a las 9am hora de Ginebra (3am en Estados Unidos).

(92:32-94:15)

Kaplan asegura que con el peso de 125 GeV todos sus modelos de supersimetría quedan descartados, esta masa marca un punto crítico para el destino del universo (aparece la animación

19 a cuadro). Explica que si no aparecen nuevas partículas, entonces la Higgs es inestable y temporal, describe las implicaciones de esto, enfatiza el hecho de que la Higgs sea el centro del modelo, pero también la posibilidad de que sea lo que destruye todo (la creadora y la destructora). Sin embargo, también está la posibilidad de que se encuentren nuevas partículas (en cuyo caso lo anterior sería desechado); por lo tanto falta trabajo por hacer.

(95:46-96:12)

Kaplan asegura que la ciencia implica exploración y que en ella ocasionalmente hay un grupo de personas que van más allá de las reglas y muestran a los demás lo que está allá afuera, descubren algo (a cuadro se muestra la animación 20).

Kaplan interviene en 13 ocasiones a lo largo de los 99 minutos de duración del documental. En total, sus intervenciones duran 18 minutos con 35 segundos aproximadamente, y corresponden aproximadamente al 18.7% de la duración total del documental, y a un 37.75% respecto a todas las intervenciones de los 7 investigadores.

Fabiola Gianotti

(12:18-12:47)

Gianotti relata su llegada al CERN décadas atrás, cuando era estudiante de licenciatura, y da cuenta del trabajo que ha realizado desde entonces.

(36:15-37:16)

Gianotti habla sobre su formación académica, no sólo en ciencia, sino en literatura, filosofía y arte, en música particularmente, y las similitudes entre esta y a la física. Enfatiza la razón por la cual decidió estudiar física.

(94:36-95:04)

Gianotti cita una frase de *La divina comedia* de Dante: “no nacimos para vivir como animales, sino para buscar el conocimiento y la virtud”. Gianotti asegura que la ciencia y el conocimiento son tan importantes como el arte, y constituyen una necesidad de la humanidad.

Hay sólo 3 intervenciones de Gianotti a lo largo de los 99 minutos de duración del documental. En total, sus intervenciones duran apenas 1 minutos con 58 segundos aproximadamente. Las intervenciones de Gianotti corresponden a poco menos del 2% de la duración total del documental, y un 4% respecto a todas las intervenciones de los 7 investigadores.

Martin Aleksa

(14:22-14:45)

Aleksa advierte que si el experimento no arroja resultados que sean novedosos será una catástrofe para la física, porque precisamente los investigadores buscan resolver, por medio de este experimento, varias de las preguntas que aún están abiertas.

(37:56-38:25)

Aleksa explica que estaban tan ansiosos esperando que ocurrieran colisiones que es realmente frustrante la fuga de helio, y lo peor es que ni siquiera pueden bajar a ver el daño porque deben esperar a que los imanes se calienten lentamente para no romperlos.

(61:16-61:39)

Aleksa asegura que todos desean realizar la colisión en secreto durante la noche y mostrarla a los medios por la mañana, afirma que Gianotti quiere esto, pero que hoy en día los medios quieren atestiguar todo, incluso los riesgos, y ellos no tienen opción más que adaptarse a esto.

(69:42-70:08)

Aleksa visiblemente entusiasta habla sobre las reuniones con sus colegas y las revisiones de datos que han realizado. Confiesa que no le importa si encuentran, o no, la partícula Higgs, porque el conjunto de datos que han obtenido es significativo en sí mismo.

Hay 4 intervenciones de Aleksa a lo largo de los 99 minutos de duración del documental. En total, sus intervenciones duran 1 minuto y 41 segundos aproximadamente. Las intervenciones de Aleksa corresponden a menos del 2% de la duración total del documental, y un 3.2% respecto a todas las intervenciones de los 7 investigadores.

Nima Arkani-Hamed

(09:53-10:26)

Arkani-Hamed explica la importancia del experimento que iniciará en el LHC.

(10:48 –11:54)

Arkani-Hamed explica que hay problemas conceptuales en el modelo estándar de la física de partículas, considera que el experimento del LHC constituye una oportunidad histórica para conocer, e intentar aclarar, las contradicciones que hay en el modelo estándar de la física.

(30:41-31:25)

Arkani-Hamed cuenta los orígenes iraníes de sus padres, quienes también son físicos y huyeron de Irán hasta Canadá por problemas político-sociales. Asegura que le atrajo la física desde los 12 años porque combinaba las matemáticas y el mundo natural. Confiesa que el CERN ha sido el centro de su vida académica desde que tenía 15 años, los resultados que arroje el experimento determinarán si todo este tiempo ha estudiado algo de provecho, o si esos años han sido desperdiciados; para él lo verdaderamente importante es lograr un objetivo, y no sólo intentar.

(41:28-42:05)

Arkani-Hamed, molesto y frustrado, expresa que el grupo del CERN no debió convocar a los medios para celebrar la puesta en marcha del experimento, sino hasta realmente tener algún resultado.

(51:08-53:01)

Arkani-Hamed habla sobre preguntas que se plantean los físicos como ¿por qué el universo es grande?; asimismo habla sobre el concepto de “constante cosmológica” (con ayuda de la animación 6 que aparecen a cuadro), abunda sobre la idea de que el universo se está expandiendo a un ritmo mucho más lento de lo predicho hace varias décadas; menciona las inconsistencias que existen en las teorías planteadas por la física básica, y que quizá exista la posibilidad de que los científicos no estén comprendido de manera adecuada.

(54:45-56:43)

Arkani-Hamed habla sobre los planteamientos científicos que intentan explicar inconsistencias o misterios sobre el universo. Abunda sobre la idea del multiverso, y continúa con los planteamientos divergentes de la ciencia y la explicación que aboga por la idea de un “diseño inteligente”.

(57:21-58:09)

Arkani-Hamed explica que en los últimos 400 años se ha seguido una idea de simetría, que implica simplicidad y patrones en el funcionamiento de la vida; por otro lado está la idea del multiverso, que remite a caos y distancias enormes. La respuesta a estas dos posibilidades se puede conocer con el experimento del LHC.

(76:23-77:20)

Arkani-Hamed comenta las bondades de trabajar en su campus universitario (hay tranquilidad y silencio). Posteriormente menciona que cualquiera que sea el resultado del experimento tendrá una repercusión importante en el campo de la física; asimismo se muestra ansioso por conocer la masa de la Higgs.

(91:11-91:48)

Arkani-Hamed entusiasmado relata que, por un lado el Higgs completa la teoría física más exitosa pero, por otro lado, abre la puerta a grandes paradojas que deben ser analizadas, por lo tanto el suspenso continúa.

Hay 9 intervenciones de Arkani-Hamed a lo largo de los 99 minutos de duración del documental. En total, sus intervenciones ascienden a 9 minutos con 27 segundos, esto corresponden a alrededor de 9.6% de la duración total del documental, y a un 19.3% respecto a todas las intervenciones de los 7 investigadores.

Savas Dimopoulos

(08:49-09:29)

Dimopoulos explica la importancia de reconocer los problemas en física que son suficientemente interesantes de abordar, y cuyo momento para tratar de resolverlos es oportuno.

(40:51-41:26)

Dimopoulos comenta que detecta un sentimiento de pesimismo y desilusión entre su familia y amigos a consecuencia del cese del experimento.

(34:32-35:53)

Dimopoulos habla sobre sus orígenes griegos, su infancia en Turquía: en los años 60 sus padres se convirtieron en refugiados políticos; asegura que las contradicciones políticas lo motivaron a estudiar un área en la que no hubiera controversias político-sociales, donde la verdad fuera absoluta. Abunda sobre su necesidad de saber la verdad, de probar las teorías que ha propuesto.

(44:57-45:31)

Dimopoulos comienza a disertar sobre la curiosidad humana, sobre por qué algunas preguntas nos interesan más que otras.

(53:16-54:20)

Dimopoulos comparte las historias bíblicas que le contaba su madre cuando era niño, la idea del paraíso y la eternidad; confiesa el miedo que sentía ante esta última.

(74:05-74:49)

Dimopoulos prepara una taza de café al tiempo que señala las diferencias entre hacer café (rápido) y hacer investigación en física (requiere tiempo, en su caso 30 años para “conocer la verdad”); asegura que “ir de fracaso en fracaso, con el entusiasmo intacto es el gran secreto para el éxito”.

(77:47-78:09)

Dimopoulos se muestra entusiasmado mientras confirma que faltan 18 horas para el anuncio del CERN, asegura que viajará hasta ahí y le pedirá a sus colegas más jóvenes que le aparten un lugar.

(89:23-91:09)

Dimopoulos comenta que experimentó un sentimiento de orgullo al momento en que anunciaron la detección del Higgs, no sólo como científico, sino como parte de la humanidad. Asegura que es increíble que los humanos hayan logrado esto, habla sobre el poder de la mente humana, le parece increíble que las leyes de la naturaleza puedan escribirse en un pedazo de papel. Profundiza sobre la masa de 125 GeV del Higgs, esto indica que no prefiere ni el multiverso ni la supersimetría; es decir, el resultado no excluye (pero tampoco confirma) ninguna de las teorías que ha empleado a lo largo de su carrera profesional; y hasta que se hagan nuevas mediciones con un LHC mejorado (dentro de algunos años), no será posible afirmar nada determinante.

(96:17-96:31)

Dimopoulos se pregunta por qué los humanos hacemos ciencia y arte, asegura que las cosas que son imprescindibles para nuestra supervivencia son precisamente aquellas que nos hacen humanos.

Hay 9 intervenciones de Dimopoulos a lo largo de los 99 minutos de duración del documental, esto corresponde a 7 minutos con 20 segundos aproximadamente, equivale al 7.4% de la duración total del documental, y un 15.1% respecto a todas las intervenciones de los 7 investigadores.

Monica Dunford

(12:50-14:07)

Dunford describe la gran expectativa de los científicos ante el lanzamiento del primer haz de protones, los compara con niños de 8 años de edad cuyo cumpleaños es al día siguiente. Asimismo describe su experiencia en el CERN, puntualiza la diferencia entre los físicos teóricos y los experimentales, y la razón por la cual ella prefirió pertenecer al segundo grupo.

(14:48-16:12)

Dunford explica detalladamente (con la animación 3 a cuadro) en qué consiste el experimento: hacer chocar dos haces de protón (que están en el centro de cada átomo) a una gran velocidad alrededor de un anillo de 27 kilómetros; esta colisión ocurre en cuatro puntos que corresponden a cuatro diferentes experimentos (ATLAS, LHCb, CMS y ALICE); el experimento ATLAS (donde trabaja Dunford) es una gran cámara de 5 pisos que toma fotografías de cada colisión (de las cuales hay millones), con la finalidad, y la esperanza, de detectar la partícula Higgs, pero también otros fenómenos nuevos.

(20:58-21:42)

Dunford relata su impresión al conocer el gran tamaño de la maquinaria en el experimento ATLAS.

(25:45-26:07)

Dunford se queja porque nadie llevó comida ni café a la oficina, y están a quince minutos del lanzamiento (lo que significa que están nerviosos).

(26:30-27:06)

Dunford explica que el experimento va a generar resultados hasta que haya una colisión entre los dos haces de protón girando en direcciones opuestas. Sin embargo, el simple hecho de lanzar el primer haz se ha convertido ya en un gran acontecimiento porque todos han esperado mucho tiempo para realizarlo.

(29:24-29:41)

Dunford luce extasiada y orgullosa de que el experimento haya arrancado adecuadamente (“we destroyed that shit”).

(43:40-44:34)

Dunford explica que un proyecto a largo plazo requiere paciencia, equipara el experimento del LHC con una maratón.

(48:55-49:47)

Dunford abundar sobre la supersimetría y la importancia que tiene para la comunidad científica (porque resuelve muchos problemas matemáticos que hay actualmente en el modelo estándar).

(49:54-51:03)

Dunford explica que antes podía vestirse con ropa normal para el trabajo, pero ahora debe portar ropa para ensuciarse y arreglar cosas. Advierte a la audiencia sobre los físicos teóricos, insinúa que no están centrados en la realidad.

(59:31-59:55)

Dunford habla sobre los orígenes del proyecto ATLAS en 1989, y el sueño de varios investigadores que pensaron en este momento crucial que podría significar un cambio en la física.

(66:36-68:05)

Dunford visiblemente entusiasmada habla sobre la gran cantidad de datos producto de las numerosas colisiones que han tenido lugar (se presenta a cuadro la animación 11). Dunford explica que el personal en los diferentes experimentos está absorto trabajando con los datos arrojados por las numerosas colisiones.

(91:55-92:28)

Dunford confiesa que no se siente decepcionada por el resultado (ambiguo), el LHC necesita apagarse, esperar dos años para ser mejorado y volver a realizar los experimentos, “la nueva física sigue ahí fuera (...) y, por supuesto, mi voto es por la supersimetría”.

Hay 12 intervenciones de Dunford a lo largo de los 99 minutos de duración del documental, esto corresponde a 10 minutos aproximadamente, y equivale al 10.1% de la duración total del documental, y un 20.4% respecto a todas las intervenciones de los 7 investigadores.

Mike Lamont

(28:53-29:10)

Lamont habla del exitoso lanzamiento que refleja el buen desempeño de la maquinaria.

(59:04-59:20)

Lamont asegura que las reparaciones del imán van bien, los haces giran nuevamente, el siguiente paso es hacerlos colisionar. Se muestra preocupado por lo que pueda salir mal.

(60:11-60:37)

Lamont habla sobre la gran presión de un evento tan importante en el que algo puede salir mal (como ya ha ocurrido antes). Confiesa que han considerado la posibilidad de realizar colisiones durante la noche, en lugar de hacerlo por la mañana con los medios presentes.

Hay sólo 3 intervenciones de Lamont a lo largo de los 99 minutos de duración del documental, esto corresponde apenas a 1 minuto, es decir, al 1% de la duración total del documental, y un 2% respecto a todas las intervenciones de los 7 investigadores.

Capítulo 3, Tercera sección:

E S C A L E T A

El Consejo Europeo para la Investigación Nuclear (CERN por sus siglas en francés) puso en marcha el Gran Colisionador de Hadrones (LHC por sus siglas en inglés) el 1 de agosto de 2008, después de más de veinte años de construcción y la colaboración de 10 mil científicos de 100 diferentes nacionalidades. *Particle Fever* narra las interacciones de algunos de los más de 2 mil científicos que trabajaron entre el 2007 y 2012 en los experimentos (principalmente en el ATLAS) desarrollados en el laboratorio de investigación de física de partículas más importante del mundo. La narración comienza en 2007, cuando se está terminando de construir el experimento ATLAS, y concluye a finales de 2012, poco después de que se detecta la partícula denominada bosón de Higgs que, en teoría, ayuda a completar el modelo estándar de la física contemporánea. Durante este período se observa la vida laboral, académica y cotidiana de siete físicos teóricos y experimentales provenientes de culturas diferentes; asimismo se aprecia su pasión por la labor científica que desempeñan para que este ambicioso experimento, sin precedentes en la historia de la ciencia y de la humanidad, funcione como espera la comunidad científica y los (siempre expectantes) medios de comunicación.

La narración comienza a finales del 2007. David Kaplan (físico teórico) conoce el experimento ATLAS y habla del LHC (gran acelerador de hadrones), su importancia, la gran expectativa alrededor de su puesta en marcha y las teorías que se pondrán a prueba en este gran experimento (que conducirán a un posible cambio que implica ver nuevas partículas) crucial para el destino de todo un campo del conocimiento (la física de partículas). Los encuadres dan cuenta del tamaño de esta gran maquinaria y registra el encuentro entre Kaplan y Fabiola Gianotti (líder del proyecto experimento ATLAS), ésta última enfatiza la importancia de la colaboración entre los físicos teóricos y los experimentales.

Posteriormente, Kaplan aparece en un auditorio hablando de las grandes expectativas del arranque del LHC, habla de la construcción del experimento, del gran número de investigadores y países involucrados, detalla algunos de los componentes del experimento (imanes superconductores, super computadoras, entre otros), menciona los problemas políticos asociados al proyecto de construcción de un acelerador de hadrones en Estados Unidos. Aclara que el experimento no tiene aplicaciones militares, ni comerciales, se desarrolló para comprender las “leyes básicas de la física”. También explica la diferencia entre físicos teóricos y experimentales, y la importancia de que ambos trabajen en conjunto. Kaplan presenta a Savvas Dimopoulos (físico teórico de la Universidad de Stanford), cuyas teorías serán puestas a prueba

en el gran acelerador de hadrones. Dimopoulos explica la importancia de reconocer una idea lo suficientemente hermosa y difícil, así como el momento adecuado para solucionarla.

Posteriormente aparece Nima Arkani-Hamed (físico teórico del Instituto de Estudios Avanzados de Princeton), habla sobre las grandes expectativas de la comunidad científica en el gran acelerador de hadrones, menciona el avance que esto implica para la humanidad. Kaplan describe a Nima como la gran estrella de la generación de los físicos jóvenes. Arkani-Hamed asegura que en el modelo estándar de la física hay inconsistencias y problemas conceptuales notorios. Sentencia que la partícula Higgs debe aparecer, de lo contrario la manera en que actualmente se piensa la física estaría muy equivocada.

Diez días antes del lanzamiento del primer haz de protones, numerosas personas se agrupan en la sala de control del CERN, todos conversan frenéticamente y lucen ocupados. Gianotti relata su experiencia académica y profesional en el CERN décadas atrás. Aparece Monica Dunford (estudiante de posdoctorado en el experimento ATLAS), quien da cuenta de la ansiedad de los investigadores ante el lanzamiento del primer haz de protón. También habla de su trabajo como posdoctorante, y ahonda en la diferencia entre el trabajo de los físicos teóricos y los experimentales. Por otro lado, también se presenta a Martin Aleksa (coordinador del funcionamiento del experimento ATLAS) en la sala de operaciones, hablando por teléfono y trabajando con colegas. Aleksa descarta la posibilidad de que el LHC no funcione como se espera, sentencia que sería una catástrofe para la física si no se descubre algo nuevo con este experimento. Dunford explica, en *off* (con animaciones a cuadro), en qué consiste el LHC y los cuatro experimentos principales (ATLAS, LHCb, CMS y ALICE), aclara que el experimento ATLAS toma capturas de las numerosas colisiones de los protones, habla del posible hallazgo de la partícula Higgs. En otro orden de ideas, Kaplan compara el experimento con la llegada del hombre a la luna, describe los objetivos y ahonda en la historia del estudio de partículas (desde principios del siglo XX hasta la actualidad); explica el modelo estándar y da cuenta de la importancia de la partícula descrita por Peter Higgs, que pretende ser hallada por el LHC. Kaplan advierte que los investigadores no tienen idea de los beneficios o aplicaciones que tendrán los resultados de este experimento. Un plano secuencia muestra el experimento ATLAS mientras Dunford habla de la primera vez que lo vio en 2005, relata su impresión al mirar los cinco pisos de microelectrónicos diseñados y soldados a mano; la música, los encuadres y los movimientos de cámara acentúan la majestuosidad de este enorme aparato tecnológico.

En el día de prueba del primer haz (10 de septiembre de 2008) la cámara muestra a Dunford desayunar en casa y viajar hasta el CERN en bicicleta. Ya en el CERN se retratan diversos grupos de investigadores ajustando detalles de último momento previo al inicio. En *stock* se presentan imágenes de los noticiarios televisivos hablando del inicio del experimento; algunos especulan que el arranque podría provocar un armagedón, o un agujero negro. Gianotti habla por teléfono y asevera que las ideas propagadas por los medios son absurdas y ridículas. Se muestra a numerosos investigadores en la sala de controles, conversando entre ellos,

observando monitores. Una voz femenina dentro de la sala de controles narra el inicio del experimento. Lyn Evans (Director del proyecto LHC) emite la orden para lanzar el haz, no hay reacción alguna, todos observan impacientes un monitor y la música se torna angustiante (tiene lugar un primer momento de *suspense*), de pronto un monitor emite un pitido y aparece un punto negro, los investigadores celebran. Dunford se muestra entusiasmada y muestra a diversos colegas gráficos en su computadora. Mike Lamont (jefe de operaciones de colisión del LHC) explica que el lanzamiento ha sido exitoso. Dimopoulos es informado por teléfono que el lanzamiento fue exitoso; se muestra alegre pero cauteloso.

Arkani-Hamed aparece en un restaurante en Princeton, Nueva Jersey, comenta que sus padres son físicos iraníes que abandonaron su patria por problemas políticos, y tuvieron que migrar a Canadá. Asegura que se interesó por la física desde los 13 años porque reunía sus dos intereses: las matemáticas y el mundo natural. Explica lo que el experimento del LHC significa para él, y sus grandes expectativas sobre los resultados. De regreso al CERN, cientos de investigadores celebran el inicio del experimento. Un grupo de investigadores jóvenes canta, a ritmo de rap, la finalidad de cada uno de los experimentos del LHC, están disfrazados de científicos (con batas, cascos y lentes de laboratorio), uno de ellos porta una máscara con el rostro de Einstein.

En la siguiente secuencia se muestra a Dimopoulos en un teleférico observando los alpes franceses, cuenta los orígenes de su familia griega que, durante los años sesenta, abandonó Turquía a consecuencia de problemas políticos entre griegos y turcos por la isla de Chipre. Esta situación lo animó a concentrarse en un campo de estudio donde “la verdad no dependiera de la elocuencia del orador”, sino que fuera “absoluta”, por esto se dedicó a la física. Asevera que al principio pensó que en 5 años pondría a prueba las teorías que había desarrollado y conocería “la verdad experimental”, no imaginaba que tardaría tres décadas en conocer “la verdad”. Hacia el final de esta secuencia se encuadra el túnel del CERN, hay un acercamiento a piezas metálicas y se presenta una melodía irritante.

Dentro de las oficinas del CERN Gianotti conversa con un colega (Peter Jenni, líder fundador del experimento ATLAS), quien le muestra imágenes en una pantalla con representaciones de los haces de protón. En *off* Gianotti habla de sus estudios en literatura, arte, filosofía, historia, piano; ahonda en las similitudes entre la música y la física. La cámara la retrata tocando el piano. Gianotti comenta que en su juventud se hacía preguntas sobre la naturaleza, el universo; y consideró que la física le permitía abordar estas preguntas de una manera más práctica que la filosofía. De nuevo se encuadra el túnel del CERN, hay un acercamiento a piezas metálicas y una melodía molesta sube de volumen, en súper se informa “9 días después del primer haz”.

Lamont trabaja en su oficina cuando súbitamente las computadoras presentan indicadores en rojo y suena una alarma. Por otro lado, Gianotti habla por teléfono, luce seria y preocupada. En otra escena Dunford recibe un mensaje en su móvil, lo revisa y luce consternada. Un acongojado Aleksa advierte que la pérdida de helio es frustrante, explica que los imanes deben

calentarse poco a poco para no romperlos, asegura que es necesario investigar y arreglar el problema. Se observan diversas de reuniones entre grupos de investigadores. *Stock* de noticieros informando sobre la suspensión del experimento ante la fuga de helio líquido en los imanes superconductores. Kaplan, Arkani-Hamed y otros colegas miran las noticias en una computadora.

Al exterior de un edificio en medio del campo aparece una camioneta con el logo del CERN (en súper: “CERN planta 3”). Un par de hombres con cascos ingresan al complejo cuya seguridad es elevada. La música se torna misteriosa. Los hombres caminan por un pasillo largo hasta llegar a una entrada protegida, uno de ellos ingresa usando su ojo como identificación. Lamont y un colega miran en la computadora fotografías de la fuga de helio, conversan sobre el problema y las posibles soluciones. Lamont se muestra serio y preocupado ante la noticia de retirar al menos 20 imanes para la reparación.

En un oficina de la Universidad de Stanford Dimopoulos trabaja y se prepara un café, comenta el sentimiento de pesimismo y desilusión entre sus colegas. Por otro lado, Arkani-Hamed, visiblemente molesto y frustrado, expresa que el CERN no debió convocar a los medios hasta alcanzar un resultado concreto. En la siguiente escena se muestran planos abiertos y detalles de los imanes dañados en proceso de ser retirados (en súper: “2009”), el sonido ambiente es de martilleo, grúas mecánicas y otras herramientas. Lamont y otros investigadores discuten el tiempo que tomará retirar, arreglar los imanes y volverlos a colocar, algunos lucen preocupados por la reacción de los físicos experimentales. En la siguiente escena Dunford aparece trotando, en *off* explica que un proyecto a largo plazo requiere paciencia, equipara el experimento del LHC (proyecto a 20 años) con una maratón; asegura que la paciencia es parte del trabajo científico y los descubrimientos. Aleksa pasa tiempo en el hogar con sus hijos, les enseña un experimento sobre presión atmosférica con un vaso de agua y una tarjeta postal. En *off* Dimopoulos diserta sobre la curiosidad humana.

En el Instituto para Estudios Avanzados de Princeton en Nueva Jersey, Kaplan y Arkani-Hamed debaten sobre una pieza de arte. Kaplan habla sobre la necesidad de los científicos por encontrar orden, patrones y simetría. En animación algunos pedazos de azulejo de la pieza de arte se levantan del suelo y se unen para conformar una figura piramidal que se transforma en el modelo estándar de átomos que se va completando como un rompecabezas. En *off* Kaplan continua hablando sobre la necesidad de simetría que buscan los científicos, lo compara con el modelo estándar de partículas que está incompleto (porque falta detectar la Higgs e identificar otras partículas, o elementos, que aún no han visto, por ejemplo la materia oscura). Kaplan explica la teoría de supersimetría (Dimopoulos fue uno de los primeros investigadores en desarrollarla) y cómo se podría corroborar su existencia. Por otro lado, Dunford en su oficina explica qué es la supersimetría y la importancia que tiene para la comunidad científica (resuelve muchos problemas matemáticos del modelo estándar). A continuación se muestra un plano secuencia de Dunford caminando entre pasillos con un casco, bata y un maletín de

herramientas, en *off* explica que antes podía ir arreglada al trabajo, pero ahora sólo va con ropa cómoda para ensuciarse.

Arkani-Hamed camina por el campus universitario mientras habla de las preguntas que se plantean los físicos, explica (por medio de animaciones) el concepto de “constante cosmológica”. Por otro lado, aparece Dimopoulos trabajando en su computadora y escribiendo fórmulas en una libreta; habla sobre la idea de la eternidad. Arkani-Hamed explica la idea del multiverso (con ayuda de animación), asegura que en los últimos 400 años se ha seguido una idea de simetría, simplicidad y patrones en el funcionamiento de la vida; aunque por otro lado está la idea del multiverso, que remite a caos y distancias enormes. La respuesta a estas dos posibilidades se puede conocer gracias a los experimentos del LHC.

La siguiente secuencia tiene lugar al interior del CERN en 2010, un grupo de investigadores mira monitores y ajusta detalles técnicos, entre ellos está Mike Lamont, quien explica que los haces de protón se encuentran girando nuevamente y que las reparaciones de los imanes están funcionando adecuadamente, hay que aumentar la velocidad para lograr la colisión. A continuación tiene lugar el primer intento de colisión de alta energía, el 29 de marzo de 2010. Dunford llega en bicicleta al CERN; hay decenas de investigadores en la sala de control, En *off* Lamont comenta que aquello que podía salir mal ya salió mal, y por eso algunos investigadores han discutido la posibilidad de realizar las colisiones durante la noche y anunciarlo a la mañana siguiente a los medios de comunicación. En una sala de juntas, Gianotti discute con una colega la posibilidad de no mostrar las colisiones a la prensa. En la escena siguiente Aleksa asegura que los investigadores desean realizar la colisión durante la noche y después mostrarla a los medios, pero hoy en día los medios quieren atestiguar todo.

Al día siguiente, los medios reportan desde el CERN, los investigadores están listos para realizar la colisión. Dunford bromea con sus colegas sobre lo que hubiera ocurrido si los medios hubieran estado cuando Edison inventó la bombilla y hubiera fallado frente a estos. Por otro lado, Lamont explica que los dos haces de protón ya están girando en direcciones opuestas y se ha retirado la separación entre ellos. Comienzan las primeras notas musicales, casi imperceptibles, de la *Sinfonía n° 9 Op. 125 en Re menor (coral)* de Beethoven. Gianotti, en medio de un numeroso grupo de investigadores, observa expectante los monitores. El volumen de la música incrementa, en animación se imita la colisión de dos haces luminosos, uno rojo y otro azul. Un plano detalle muestra un monitor donde aparece la numeración en ceros (los haces han chocado), se escucha la algarabía de los investigadores, la *Sinfonía n° 9 Op. 125 en Re menor (coral)* de Beethoven alcanza su punto climático con el coro. Los investigadores celebran, ríen, aplauden, se abrazan. Una animación muestra un collage con imágenes de diversos logros científicos y artísticos, desde Galileo Galilei hasta Van Gogh. Desde su oficina, Dimopoulos y un colega presencian este momento por medio de una computadora. En animación se muestra el recorrido de los datos a partir de la colisión dentro del túnel, hacia las computadoras del CERN, se procesan y envían a diferentes países alrededor del globo

terráqueo. En su oficina Dunford habla entusiasmada sobre la cantidad de datos a partir de las numerosas colisiones que han ocurrido. Se muestran diversos investigadores trabajando en equipo, exponiendo gráficos y escribiendo en sus computadoras.

En Nueva Jersey, Estados Unidos (en súper: “2011”), Arkani-Hamed y algunos colegas comen en un restaurante mientras conversan sobre la ausencia de datos, o rumores sobre estos, arrojados por el experimento. Posteriormente, Kaplan asienta la fecha (7 de agosto de 2011) para informar que el CERN ha publicado el primer conjunto de datos. Dimopoulos sale del aeropuerto de Ginebra con una maleta. En *off*, Kaplan explica que si la masa (peso) de la partícula Higgs es 115 veces la masa del protón (115 GeV) concuerda con propuestas de la supersimetría, pero si la masa es de 140 GeV entonces se asocia con ideas del multiverso (aparece una gráfica animada). Kaplan asevera que los últimos datos revelan una masa cercana a 140 GeV, enfatiza las consecuencias de que estos datos apoyen la idea del multiverso. Aleksa y Dunford conversan sobre el peor escenario posible. Dimopoulos y Ricardo Barbieri (físico teórico de la universidad de Pisa) charlan con pesimismo sobre la posibilidad de haber estudiado durante 40 años algo que podría no ser correcto. Dimopoulos se prepara una taza de café mientras asevera que “ir de fracaso en fracaso, con el entusiasmo intacto es el gran secreto para el éxito”.

En la siguiente secuencia Kaplan informa que ha desaparecido el indicio de 140 GeV, así que aún hay esperanza de que el peso de la Higgs sea de 115 GeV. Arkani-Hamed y Kaplan juegan ping pong en una sala de juegos, simulan una competencia entre la supersimetría y el multiverso; en *off* Arkani-Hamed sentencia que el resultado del experimento tendrá una repercusión importante en la física, se muestra ansioso por conocer la masa de la Higgs. Se muestran portales web de algunos periódicos que anuncian que el CERN tiene nuevos datos. Kaplan informa que ya hay noticias nuevas y habrá una conferencia en el CERN. Dimopoulos comenta ansioso que faltan 18 horas para el gran anuncio del CERN. Por otro lado, Kaplan conduce de noche hacia Princeton (en súper: “3 de julio de 2012”) para mirar, junto a sus colegas, la transmisión en vivo de la conferencia en el CERN.

La siguiente secuencia comienza con un encuadre nocturno del exterior del CERN, hay un *zoom in* a la estatua de Shiva al interior de las instalaciones; cerca del auditorio hay decenas de estudiantes esperando a que abran el auditorio (en súper: “pasillo del auditorio del CERN. 4 de julio de 2012 4am”). En Princeton Kaplan, Arkani-Hamed y otros investigadores ajustan computadora y proyector para mirar la conferencia en vivo. De vuelta al CERN, Peter Higgs entra al auditorio y todos aplauden. Rolf-Dieter Heuer (director general del CERN) saluda y cede la palabra a Joe Incandela, (encargado del experimento CMS) este presenta sus resultados (un bosón con una masa de 125.3 ± 0.6 GeV, con 4.9 sigmas de significación), la audiencia aplaude. Rolf-Dieter Heuer da la palabra a Gianotti, quien inicia su presentación. En Princeton, Arkani-Hamed y Kaplan se miran y sonríen. De vuelta al auditorio del CERN, Higgs escucha impávido a Gianotti. Comienza a sonar música que genera expectativa. Se muestran detalles de

las gráficas que presenta Gianotti y asegura que detectaron una partícula, con un exceso de significación de 5 sigmas, con peso de 126.5 GeV. La audiencia aplaude y se pone de pie. Un plano detalle encuadra a Higgs secándose las lágrimas, segundos después los investigadores lo conminan a hablar, asegura que para él ha sido increíble vivir para presenciar este momento, Gianotti luce exultante y todos la felicitan. En Princeton todos celebran, Arkani-Hamed sentencia entusiasmado “¡encontramos la Higgs!”.

En la siguiente secuencia, aparecen Aleksa y su familia comiendo, comentan el gran acontecimiento del día que dio la vuelta al mundo. En *off* Dimopoulos confiesa que experimentó un sentimiento de orgullo por este logro, como científico y como parte de la humanidad. Se dice asombrado por el hecho de que “las leyes de la naturaleza pueden escribirse en un pedazo de papel”. Explica que la masa de 125 GeV de la Higgs indica que no “prefiere” el multiverso ni la supersimetría; este resultado “no excluye, pero tampoco confirma” ninguna de las teorías que ha empleado a lo largo de su carrera profesional, mientras no haya un LHC mejorado no será posible afirmar nada determinante. En Princeton, Arkani-Hamed asegura que, por un lado la Higgs completa la teoría física más exitosa, pero también abre la puerta a grandes paradojas que requieren análisis.

De vuelta en Suiza, Dunford practica remo, en *off* explica que no se siente decepcionada por el resultado, el LHC debe apagarse, esperar dos años a ser mejorado y realizar de nuevo los experimentos. En Estados Unidos, Kaplan conduce su auto y asegura que con el peso de 125 GeV todos sus modelos de supersimetría quedan descartados, asimismo explica que si no aparecen nuevas partículas entonces la Higgs es inestable y temporal, enfatiza el hecho de que esta partícula podría ser el centro del modelo, pero también existe la posibilidad de que sea lo que destruye todo; aún falta mucho trabajo por hacer. En el CERN, Gianotti mira el ATLAS asombrada, cita una frase de *La divina comedia* de Dante Alighieri, y asegura que la ciencia y el arte son igualmente importantes para la humanidad. Arkani-Hamed y Dimopoulos caminan por las calles de Nueva Jersey, comentan el documental de Werner Herzog *Cave of forgotten dreams* (2010). Kaplan asegura que en la exploración hay un grupo de personas que van más allá de las reglas y muestran a los demás lo que está allá afuera, descubren algo. En *off* Dimopoulos se pregunta por qué los humanos hacemos ciencia y arte, asegura que las cosas que son imprescindibles para nuestra supervivencia son precisamente aquellas que nos hacen humanos.

Capítulo 3, Cuarta sección:

ANIMACIONES Y GRÁFICOS ANIMADOS

Animación 1 (00:00-01:22): Créditos iniciales y título del documental sobre animación de colisiones. La duración total de esta animación es de 1'22”.

Animación 2 (06:11-06:31): *Zoom out* de mapa del continente europeo sobre fondo negro. En la frontera entre Francia y Suiza se observa un punto del que salen líneas curvas hacia diferentes países dentro y fuera del mapa // *Zoom out* de globo terráqueo sobre fondo negro (gira lentamente), se aprecian los continentes europeo y africano, se observan las líneas curvas que alcanzan otros puntos de la Tierra // *Pan left* de plano detalle de frontera franco-suiza (con líneas curvas que salen de este punto) hasta continente americano, una línea se traza hasta Estados Unidos, y se detiene en un punto que está marcado como “Dallas”. La duración total de esta animación es de 20”.

Animación 3 (14:57-16:10): sobre el primer plano de Dunford que habla a cuadro, se observa el dibujo animado de dos autos de juguete chocando uno contra otro, los diferentes componentes se separan, dos de las llantas giran y se convierten en una especie de átomo con protones en su interior. Esto se transforma en un gran círculo que se superpone a un mapa de la frontera franco-suiza que emula la circunferencia del LHC, a lo largo de la cual giran dos protones en sentido inverso, se producen colisiones en cuatro puntos que se corresponden a cada uno de los experimentos (ATLAS, LHCb, CMS y ALICE). *Zoom in* al experimento ATLAS, que toma fotografías de cada una de las colisiones. *Zoom out* de colisiones hasta compuerta que se aleja en la oscuridad para convertirse en una nueva colisión (el *zoom out* continúa repetidamente). La duración total de esta animación es de 1'13”.

Animación 4 (17:26-19:45): sobre fondo negro, aparece un punto luminoso violeta brillante, *zoom in* hasta que el punto se convierte en una gran luz blanca y azul que abarca la pantalla completa // *Zoom in* de pantalla en blanco que se va disolviendo para dejar a la vista el universo con diversas galaxias por aquí y por allá, fundido encadenado a plano medio de público de la conferencia, encima de esta imagen aparecen círculos blancos (el fondo se va oscureciendo hasta quedar completamente en negros), cada uno representa un átomo // *Zoom in* hasta un círculo azul que representa un átomo, en su interior hay otros dos círculos contiguos, uno es naranja (en súper: “neutrón, 1932”), el otro verde (en súper: “protón, 1919”). Alrededor del círculo azul gira un punto también azul (en súper: electrón, 1897) // *Pan right* (continúa el fondo negro) hasta línea del tiempo, en la parte inferior señala en súper el año “1930”, en la parte superior aparecen círculos de colores // *Pan right* hasta súper: “1960”, en la parte superior aparecen círculos y puntos de diferentes tamaños y colores // *Tilt down* hasta conjunto de numerosos puntos y círculos de diversos tamaños y colores // *Zoom in* de pantalla en negro, hasta círculos en cuyo interior aparecen fotografías en blanco y negro de diversos hombres // Disolvencia, aparecen nuevos círculos de diferente color y ocupan toda la pantalla, dentro de

ellos aparecen tres círculos que se unen al centro de la pantalla hasta fundirse en un único círculo; a su alrededor surge otro círculo y poco a poco se transforma en el “modelo estándar”, cuyo interior se encuentra subdividido, en cada apartado hay un inicial o signo. En súper: “Partículas del modelo estándar”. Del lado derecho de la pantalla aparecen descritos los Fermiones (Quarks y Leptones) y Bosones (bosones de calibre y bosón de Higgs), todos los anteriores aparecen en cuatro diferentes colores (quarks rojo, leptones verde, bosones de calibre azul y el bosón de Higgs en negro). Del lado izquierdo se colorean los componentes del modelo estándar de acuerdo con su categoría // *Zoom in* al centro del modelo estándar (el bosón de Higgs) hasta que ocupa el lado izquierdo de la pantalla. Del lado derecho aparece una imagen en blanco y negro de un joven Higgs trabajando en su escritorio. En la parte inferior de la pantalla aparecen trazos de fórmulas físicas // *Zoom out*, sobre pantalla en negro se observan numerosos círculos que emulan partículas Higgs, *pan right* de círculo verde que atraviesa estas partículas // *Pan right* hasta línea del tiempo que comienza con el Big Bang, pasa por la formación de elementos básicos, la era de radiación (10,000 años después del Big Bang), la formación de estrellas y galaxias (300 millones de años después del Big Bang), las primeras formas de vida (3.8 mil millones de años antes del presente), la evolución del *Homo Sapiens* (300,000 años antes del presente), los primeros dibujos en la cueva de Chauvet (30,000 años antes del presente), la construcción del primer telescopio de Galileo Galilei (en 1609 a.C.), y de la primera colisión protón-protón en el Gran Colisionador de hadrones (2008) // *Pan right* de línea del tiempo hasta colisión de la cual se desprenden numerosos puntos y líneas curvas de diversos colores que poco a poco ocupan toda la pantalla. La duración total de esta animación es de 2’19”.

Animación 5 (47:10-48:09): Plano abierto de instalación artística, en animación algunos pedazos de azulejo que componen la instalación se levantan del suelo y se unen para conformar una figura piramidal sobre un fondo negro. La pirámide gira y se abre, dentro de ella se despliega el modelo estándar de partículas que se va armando como un rompecabezas, sobre fondo negro con estrellas que se van iluminando paulatinamente, las luces se conjugan para formar del lado derecho una figura romboidal de color morado. Alrededor de esta figura se van conformando otras que también rodean el modelo estándar // *Zoom out* de esta nueva figura hasta formar un mosaico diverso que parte de un patrón más grande. La duración total de esta animación es de 59”.

Animación 6 (51:16-52:19): Sobre plano medio de Arkani-Hamed caminando meditabundo en medio de una zona boscosa del campus universitario, aparecen fórmulas matemáticas en animación alrededor del rostro de este investigador // Plano abierto de Arkani-Hamed caminando, a su alrededor comienzan a aparecer números diversos que se mueven erráticamente por toda la pantalla, que poco a poco se va a negros // Fundido encadenado hasta universo donde se aprecian numerosas galaxias, *zoom out* hasta otros universos, *pan right* hasta Arkani-Hamed caminando por el campus, alrededor de su cabeza continúa la animación de fórmulas matemáticas. Cuando Arkani-Hamed entra a un edificio, las fórmulas caen al suelo

(en audio se escucha un sonido de cristales rompiéndose) // Plano abierto de oficina de Arkani-Hamed en medio de la noche. Alrededor de la ventana iluminada aparecen números que se mueven erráticos. Asimismo las ventanas se descomponen. La duración total de esta animación es de 1'03".

Animación 7 (54:43-56:01): Plano detalle de notas escritas en una hoja de cuaderno. En el fondo aparece una animación con fórmulas matemáticas sobre fondo de color azul y anaranjado // *Zoom out* desde vía láctea hasta otras galaxias que conforman el universo // *zoom out* hasta fondo negro donde aparecen fórmulas matemáticas, *zoom out* a otra fórmula matemática y se repite sobre fondos de diversos colores // Fundido encadenado hasta universo, *zoom out* hasta apreciar el Sol y una parte de la Tierra, se funde a negro. La duración total de esta animación es de 1'18".

Animación 8 (56:27-56:46): Sobre pantalla en negro, aparecen diversas fórmulas matemáticas escritas en color blanco. *Zoom in* que atraviesa diversas fórmulas, aparecen destellos y sonidos de truenos, fundido a negros. La duración total de esta animación es de 19".

Animación 9 (65:36-65:53): Sobre negro, *zoom in* a dos haces girando en sentido opuesto (una rojo y otro azul), chocan y producen una luz, de la cual se desprenden puntos y líneas de colores que describen curvas. Fundido encadenado a imagen de colisión real // *Zoom out* de numerosas colisiones vistas desde una especie de mirilla circular. Esta mirilla se convierte en un dibujo de la luna, *zoom out* de esta luna vista a través de la lente de un telescopio, *zoom out* hasta conjunto de hombres escuchando a Galileo Galilei. La música que acompaña esta animación es la *Sinfonía n° 9 Op. 125 en Re menor (coral)* de Beethoven. La duración total de esta animación es de 17".

Animación 10 (66:03-66:20): pintura de la noche estrellada de Van Gogh, *tilt up* a gráficos de la colisión // Sistema solar, las órbitas de los planetas se transforman en líneas de partituras donde aparecen notas musicales, esto se transforma en una doble hélice de ADN, que a su vez se transforma en coloridos vitrales. La duración total de esta animación es de 17".

Animación 11 (66:27-66:36): a partir de la colisión dentro del túnel, una serie de haces ingresan a una caja, un haz asciende por un tubo y viaja hasta el centro de cómputo, es procesado por los servidores del CERN, de ahí salen líneas hacia fuera del globo terráqueo y dibujan trayectorias hacia diferentes países del mundo. Música vibrante // (66:56-67:00): mapa con división política, se aprecian líneas que salen de frontera franco-suiza y se dirigen a diversas partes del continente europeo (la transmisión es de doble vía) // (67:03-67:05) se repite el mapa con división política sobre fondo negro y la transmisión de datos. La duración total del conjunto de estas tres animación que forman parte de un mismo micro relato es de 15".

Animación 12 (70:28-70:56): gráfica en la cual se observa la masa del Higgs. Kaplan continúa la narración en *off*, explica que la Higgs tiene un peso de alrededor de 115 veces la masa del protón (o sea, 115 GeV), esto concuerda con las propuestas de la supersimetría. Pero si la masa es de 140 GeV, se asocia con teorías que se apoyan en el multiverso. La duración total de este gráfico es de 28”.

Animación 13 (75:00-75:15): gráfica donde se observa la masa de la Higgs sobre fondo negro en donde aparecen imágenes que imitan colisiones. En *off* Kaplan asegura que los nuevos datos han modificado lo que parecía ser el peso en 140, abunda sobre el método estadístico que emplean para medir y saber que lo que están midiendo es confiable. Concluye diciendo que, por lo tanto, aún cabe la esperanza de que el peso de la Higgs sea de 115 GeV, lo cual, recuerda, favorece la teoría de que hay nuevas partículas, como en la supersimetría. La duración total de esta animación es de 15”.

Animación 14 (75:32-76:20): gráfica donde se detalla la masa de la Higgs, y se explica en qué consiste el término “sigma”, y la confianza que aportan 5 sigmas en una observación. *Pan left* sobre la misma gráfica. En *off* Kaplan explica que la masa de la Higgs no está en 140 GeV, así que eso da esperanza a que se acerque a los 115 GeV que estaban esperando (en súper: “¿supersimetría?”). Fundido encadenado a la siguiente imagen. La duración total de esta animación es de 48”.

Animación 15 (85:34-85:39): Plano detalle de collage de cuatro gráficas presentadas por Gianotti en la presentación final del CERN. Las gráficas no son lo suficientemente claras, ni duran el tiempo necesario en pantalla para poder leerlas con detenimiento y mucho menos analizarlas, sirven como ilustración de lo que Gianotti está mostrando a la audiencia. La duración total de esta animación es de 05”.

Animación 16 (85:57-86:07): Plano detalla de gráficas presentadas por Gianotti. No da tiempo para leerlas en detalle, pero en *off* Gianotti señala un pico en el sigma // Detalle del detalle de la gráfica donde se lee que la masa de la Higgs es de 126.5 con una probabilidad de 5 sigmas. La duración total de esta animación es de 10”.

Animación 17 (90:08-90:16): Plano abierto de Dimopoulos trabajando en su computadora portátil sentado en una aula de clases con gradas. Comienzan a aparecer fórmulas matemáticas en animación, ocupan toda la pantalla y de pronto se acercan y se conjugan en una hoja de papel también animada que está ubicada en el lado derecho de la pantalla. La duración total de esta animación es de 08”.

Animación 18 (90:37-90:44): sobre un plano detalle de monitor de computadora de Dimopoulos donde se observa una ilustración sobre los caminos divergentes del multiverso y la supersimetría, aparece en animación la figura que representa el modelo estándar más las otras

partículas posibles (idea que parte de la teoría de la supersimetría), en la parte superior del modelo aparece el peso de 115 GeV. Del lado derecho de la ilustración aparece un círculo rojo y arriba el peso 140 GeV. En medio de ambos aparece el peso de 125 GeV. En *off* Dimopoulos explica que los resultados son confusos porque no apoyan ni la idea del multiverso ni la supersimetría. La duración total de esta animación es de 07”.

Animación 19 (93:24-94:02): fundido encadenado a conjunto de numerosas galaxias en medio del universo, *zoom in* a través de las galaxias hasta que aparece el modelo estándar, *zoom in* hasta el centro del modelo estándar, donde se encuentra la partícula Higgs. Fundido encadenado, el círculo que representa la Higgs se funde con la estructura circular en la figura de Shiva al atardecer. La duración total de esta animación es de 38”.

Animación 20 (96:07-96:23): fundido encadenado de pinturas en cueva de Chauvet a imágenes de galaxias en el universo, fundido encadenado a imagen de colisiones de haces de protón del CERN. La duración total de esta animación es de 16”.

REFERENCIAS

Aguilar C. (2014). *De la reproducción a la representación: el papel testimonial y comunicativo de la obra de arte erótica contemporánea (Balthus, Freud y Yuskavage)* (Tesis doctoral). UNAM, México.

Azevedo, J. (2010) El papel de la retórica visual en los documentales sobre ciencia. En B. León (Ed.), *Ciencia para la televisión. El documental científico y sus claves* (pp. 83-100). Editorial UOC.

Amador, J. (2004) *Las raíces mitológicas del imaginario político*, Ciudad de México: UNAM.

_____ (2008) *El significado de la obra de arte. Conceptos básicos para la interpretación de las artes visuales*, Ciudad de México: UNAM.

_____ (2017) *El significado de la obra de arte. Conceptos básicos para la interpretación de las artes visuales*, Ciudad de México: UNAM.

_____ (2020) *Ensayos de hermenéutica. Perspectivas para una teoría de la interpretación*. Ciudad de México: UNAM. En prensa.

Aumont, J., Bergala, A., Marie, M., y Vernet, M. (2008) *Estética del cine: espacio filmico, montaje, narración, lenguaje*. Buenos Aires: Paidós.

Aristóteles (2014) *Poética*. Madrid: Gredos.

Berryman, S. (2016). *Democritus*. Recuperado el 27 de marzo de 2020 en <https://plato.stanford.edu/cgi-bin/encyclopedia/archinfo.cgi?entry=democritus>

British Science Association. (7 de abril de 2017) *Constructing the mad scientist: tackling stereotypes in science* [archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=d-yAgVifoJU>

Campbell, J. (1959) *El héroe de las mil caras. Psicoanálisis del mito*. México: Fondo de Cultura Económica.

_____ (1991) *El poder del mito*. Barcelona: Emecé Editores

Casetti, F., y di Chio, F. (2016) *Cómo analizar un film*. Barcelona: Paidós.

Cassini, A. (2016) *Modelos científicos*. Recuperado el 27 de marzo de 2020 en http://dia.austral.edu.ar/Modelos_cientificos.

Chávez, N. *et al.*, (2015) “La idea de déficit en la comunicación de la ciencia”. *Ciencia y Desarrollo*, n. 276, pp. 1-9. <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=articulo&id=4>

Chion, M. (1993) *La audiovisión*. Barcelona: Paidós.

_____ (1997) *La música en el cine*. Barcelona: Paidós.

_____ (2009) *Cómo se escribe un guión*. Madrid: Cátedra.

Cross, E. (agosto 1994) “La danza de Shiva y los procesos cósmicos”. *Revista de la Universidad de México*, pp. 23-26. http://www.revistadelauniversidad.unam.mx/ojs_rum/index.php/rum/article/view/14024

Díez, J.A., y Moulines, C.U. (1997) *Fundamentos de filosofía de la ciencia*. Barcelona: Ariel.

Djordjevic, Z. (2018). *The music of Particle Fever. An interview with Robert Miller*. Recuperado el 5 de noviembre de 2018 en <https://theaudiospotlight.com/the-music-of-particle-fever-an-interview-with-robert-miller/>

Doniger, W. (2004) *Mitos hindúes*. Madrid: Ediciones Siruela.

Duhem, P. (2003) *La teoría física, su objeto y su estructura*. Barcelona: Herder.

Durand, G. (1971) *La imaginación simbólica*. Buenos Aires: Amorrortu.

_____ (enero-abril 2012) “La mitocrítica paso a paso”. *Acta sociológica*, n. 51, pp. 105-118. <http://www.revistas.unam.mx/index.php/ras/article/view/29762>

Echeverría, J. (1997) “La filosofía de la ciencia en el siglo XX: principales tendencias”. *Ágora*, vol. 16, no. 1, pp. 5-39. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=81285>

_____ (2003) *La revolución tecnocientífica*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.

_____ (agosto-diciembre 2005) “La revolución tecnocientífica”. *CONfines de relaciones internacionales y ciencia política*, n. 1, vol. 2, pp. 9-15. <https://confines.mty.itesm.mx/articulos2/EcheverriaJ.pdf>

Estrada, L. (2002) La divulgación de la ciencia. En J. Tonda, A.M. Sánchez, y N. Chávez (coords.) *Antología de la divulgación de la ciencia en México* (pp. 138-151). UNAM.

Estrada, L. (2015) Acerca de la divulgación de la ciencia. En E. Reynoso (coord.) *Hacia dónde va la ciencia en México. Comunicación Pública de la Ciencia. I. Origen e instituciones* (pp. 21-30). CONACyT, AMC y CCC.

Fayard, P. (2004) *La comunicación pública de la ciencia: hacia la sociedad del conocimiento*. México: UNAM.

Feldman, S. (1990) *Guión argumental, guión documental*. Barcelona: Gedisa.

Fernández, L.A., (enero- junio 2008) “Los internautas agitan el árbol de la ciencia”. *Quaderns del CAC (Consell de l'Audiovisual de Catalunya)*, n. 30, pp. 39-45. https://www.cac.cat/sites/default/files/migrate/quaderns_cac/Q30_web_ES.pdf

Ferraris, M. (2005) *Historia de la hermenéutica*. Ciudad de México: Siglo XXI.

Feyerabend, P. (2018) Cómo defender a la sociedad contra la ciencia. En I. Hacking (comp.) *Revoluciones científicas* (pp. 294-313). Fondo de Cultura Económica.

_____ (1981) *Tratado contra el método. Esquema de una teoría anarquista del conocimiento*. Madrid: Tecnos.

Field S. (1996) *El manual del guionista: ejercicios e instrucciones para escribir un buen guión paso a paso*. Madrid: Plot.

Finson, K.D., (2002) “Drawing a scientist: What we do and do not know after fifty years of drawings”. *School Science and Mathematics*, no. 102, pp. 335-345. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2002.tb18217.x>

Frigg, R., y Hartmann, S. (2018). *Models in science*. Recuperado el 27 de marzo de 2020 en <https://plato.stanford.edu/cgi-bin/encyclopedia/archinfo.cgi?entry=models-science>

Gadamer, H.G. (2003) *Verdad y Método I*. Salamanca: Ediciones Sígueme.

García, C. (1979) *Prometeo: mito y tragedia*. Madrid: Peralta Ediciones.

Gelmini, G., (junio 2014) “El bosón de Higgs”. *Ciencia e investigación*, t. 64, n. 3, p. 5-22. <http://www.aargentinapciencias.org/2/images/RevistasCeI/tomo64-3/Paginas5-22desdeRevista64-3.pdf>

Giere, N. R. (1984) *Understanding scientific reasoning*. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Gribbin, J. (2005) *Historia de la ciencia*. Barcelona: Crítica.

Grierson, J. (1964) *Grierson on documentary*. California: University of California Press.

Grimal, P. (2017) *Diccionario de mitología griega y romana*. Barcelona: Paidós.

Grondin, J. (2002) *Introducción a la hermenéutica filosófica*. Barcelona: Herder.

_____ (2008) *¿Qué es la hermenéutica?* Barcelona: Herder.

Guardia, I. (2014) Reflexiones sobre la narratividad del documental en la era transmedia. Relatos, resistencias e intervención. En B. León (coord.) *Nuevas miradas al documental* (pp. 48-64). Comunicación social ediciones y publicaciones.

Guerrero, V. (mayo 2008) “El gran colisionador de hadrones”. *¿Cómo Ves?*, pp. 10-15. <http://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/114/el-gran-colisionador-de-hadrones>

Hacking, I. (1996) *Representar e intervenir*. México: Paidós

Hacking, I. (comp.). (2018) *Revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica

Haynes, R. (1994) *From Faust to Strangelove: representations of the scientist in western literature*. London: John Hopkins Press.

Hempel, C. (1998) *Filosofía de la ciencia natural*. Madrid: Alianza Editorial.

Herrera, G. (2016) *Universo: la historia más grande jamás contada*. Ciudad de México: Taurus.

Holton, G. (1985) *La imaginación científica*. México: Fondo de Cultura Económica.

Hornig, S. (2010) *Encyclopedia of Science and Technology Communication*. Washington: SAGE Publications.

Jordi, C. (2019). *Otto Neurath*. Recuperado el 27 de marzo de 2020 en <https://plato.stanford.edu/archives/fall2019/entries/neurath/>

Jung, C. (1970) *Arquetipos e inconsciente colectivo*. Barcelona: Paidós.

_____ (1995) *El hombre y sus símbolos*. Barcelona: Paidós.

Kuhn, T. (2013) *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.

LaFollette, M.C., (1988) "Eyes on the stars: images of women scientist in popular magazines". *Science Technology and Values*, n. 13, pp. 262-275. <https://doi.org/10.1177/016224398801303-407>

Lagunes, J.Y. (2012). *Funciones de la música en el cine, en la película Naranja mecánica de Stanley Kubrick mediante un análisis audiovisual* (Tesis de licenciatura). UNAM, México.

Lakatos, I. (1987) *La historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Madrid: Tecnos.

Latour, B., y Woolgar, S. (1995) *La vida en el laboratorio: la construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza Editorial.

León, B. (1999) *El documental de divulgación científica*. Barcelona: Paidós.

León, B. (2002) "La divulgación científica a través del género documental. Una aproximación histórica y conceptual". *Mediatika*, n. 8, pp. 69-84. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4646193>

León, B., (enero-junio 2008) "El documental científico y sus coordenadas". *Quaderns del CAC (Consell de l'Audiovisual de Catalunya)*, n. 30, pp. 11-16. https://www.cac.cat/sites/default/files/migrate/quaderns_cac/Q30_web_ES.pdf

León, B. (2010) El documental científico como enunciado dramático. En B. León (coord.) *Ciencia para la televisión. El documental científico y sus claves* (pp. 65-81). Editorial UOC.

León, B. (Coord.). (2010) *Ciencia para la televisión. El documental científico y sus claves*. Editorial UOC.

León, B. (Coord.). (2014) *Nuevas miradas al documental*. Comunicación social ediciones y publicaciones.

Lewenstein, B.V., (junio 2003) "Models of public communication of science and technology". *Public Understanding of Science*, pp. 1-11. https://www.researchgate.net/publication/313138495_Models_of_public_communication_of_science_and_technology

Lince, R.M. (2013) Wilhelm Dilthey, intérprete del azar, el destino y la vida. En R.M. Lince, y J. Amador (coords.) *Reflexiones sobre los autores clásicos de la hermenéutica. Tomo I.* (pp. 35-56). UNAM.

Lince, R. M. y Amador, J. (Coords.). (2013) *Reflexiones contemporáneas sobre los autores clásicos de la hermenéutica. Tomo I.* UNAM.

Martínez-Rodríguez, M. (2013). *Ciencia en movimiento: una experiencia laboral en el Departamento de Televisión de la DGDC* (Tesis de licenciatura). UNAM, México.

_____ (2016). *La incorporación de los principios del término Naturaleza de la Ciencia (NdC) a las producciones audiovisuales de divulgación científica* (Tesis de maestría). UNAM, Ciudad de México.

Mecalco, A. (2019). *Análisis hermenéutico del soldado estadounidense en Rambo: First Blood como estereotipo que sustenta al héroe de acción actual* (Tesis de maestría). UNAM, Ciudad de México.

McCabe, B. (2014). *With 'Particle Fever', director Mark Levinson combines his interests in physics, film*. Recuperado el 25 de octubre de 2018 en <https://hub.jhu.edu/2014/03/21/particle-fever-director-levinson/>

McKee, R. (2005) *El guión. Sustancia, estructura, estilo y principios de la escritura de guiones*. Barcelona: Alba Minus.

Mitchell, M., y McKinnon, M. (septiembre 2018). “‘Human’ or ‘objective’ faces of science? Gender stereotypes and the representation of scientists in the media”. *Public Understanding of Science*, vol. 28, n. 2, pp. 1-14. <https://doi.org/10.1177/0963662518801257>

National Research Council (1996) *National Science Education Standards*. Washington: National Academy Press.

Negrete, A. (2008) *La divulgación de la ciencia a través de formas narrativas*. México: UNAM.

Nelkin, D. (1995) *Selling science: how the press covers science and technology*. New York: W.H. Freeman and Company.

Nepote, J. (2015) La ciencia es de quien la divulga: experiencias y propuestas de divulgación científica en Jalisco. En E. Reynoso (coord.) *Hacia dónde va la ciencia en México. Comunicación Pública de la Ciencia. I. Origen e instituciones* (pp. 97-116). CONACyT, AMC y CCC.

Neurath, O. (2002) “Pseudorracionalismo de la falsación”. *Redes*, vol. 10, n. 19, pp. 105-118. <https://www.redalyc.org/pdf/907/90701905.pdf>

Nichols, B. (1997) *La representación de la realidad. Cuestiones y conceptos sobre el documental*. Barcelona: Paidós.

Nichols, B. (2013) *Introducción al documental*. México: UNAM.

Okasha, S. (2007) *Una brevísima introducción a la filosofía de la ciencia*. México: Océano.

Pascual, J. (2008) *Guía universal de la música clásica*. Barcelona: Ma non troppo.

Pascal, R. (2008). *Diez años del Large Hadron Collider*. Recuperado el 27 de marzo de 2020 en <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/2/posts/diez-aos-del-large-hadron-collider-16814>

Pellisser, N. (enero-junio 2008) “La divulgación científica de los problemas medioambientales a través de los medios de comunicación. El caso del documental-conferencia An Inconvenient Truth”. *Quaderns del CAC (Consell de l'Audiovisual de Catalunya)*, n. 30, pp. 47-53. https://www.cac.cat/sites/default/files/migrate/quaderns_cac/Q30_web_ES.pdf

Pérez, A., y Martínez, A. (1978) *Hesíodo. Obras y fragmentos. Teogonía. Trabajos y días. Escudo. Fragmentos. Certamen*. Madrid: Gredos.

Pérez, M. (enero-junio 2008) “La divulgación científica en los medios audiovisuales. Ética y compromiso en la comunicación científica”. *Quaderns del CAC (Consell de l'Audiovisual de Catalunya)*, n. 30, pp. 3-10. https://www.cac.cat/sites/default/files/migrate/quaderns_cac/Q30_web_ES.pdf

Pérez-Tamayo, R. (2003) *¿Existe el método científico?: historia y realidad*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.

_____ (2010) *Reflexiones sobre la ciencia*. Ciudad de México: Seminario de Cultura Mexicana.

Rabiger, M. (2007) *Tratado de dirección de documentales*. Barcelona: Ediciones Omega.

Reynoso, E. (Coord.). (2015) *Hacia dónde va la ciencia en México. Comunicación Pública de la Ciencia. I. Origen e instituciones*. CONACyT, AMC y CCC.

Reynoso, E., y Franco, J. (2015) Universidades y comunicación pública de la ciencia: la experiencia de la DGDC, UNAM. En E. Reynoso (coord.) *Hacia dónde va la ciencia en México. Comunicación Pública de la Ciencia. I. Origen e instituciones*, (pp. 31-44). CONACyT, AMC y CCC.

Ricoeur, P. (1999) *Historia y narratividad*. Barcelona: Paidós.

_____ (2004) *Tiempo y Narración I: Configuración del tiempo en el relato histórico*. Ciudad de México: Siglo XXI.

_____ (2006) *Teoría de la interpretación*. Ciudad de México: Siglo XXI.

_____ (2012) *Escritos y conferencias 2: Hermenéutica*. Ciudad de México: Siglo XXI.

Rivas, M. (2013) *La Novena Sinfonía de Beethoven: historia, ideas y estética*. Recuperado el 4 de febrero de 2020 en https://www.academia.edu/6538335/La_Novena_Sinfon%C3%ADa_de_Beethoven_historia_ideas_y_est%C3%A9tica_2013_

Rodríguez de Fonseca, J. (2012) Saber narrar en cine. En E. Rico, Juan C., Y F. J. Rodríguez de Fonseca. *Saber Narrar*, (pp.191-287). Aguilar.

Rosique, G. (2014) La narrativa transmedia en el documental: más allá de las pantallas. En B. León (coord.) *Nuevas miradas al documental* (pp. 65-72). Comunicación social ediciones y publicaciones.

Salcedo, M. (2010) Hacia una definición de documental de divulgación científica: un subgénero destacado para la comunicación de la ciencia. En B. León (Ed.), *Ciencia para la televisión. El documental científico y sus claves* (pp. 29-49). Editorial UOC.

Sanders, R. (2014) *Berkeley physics Ph.D. takes "Particle Fever" to the big screen*. Recuperado el 24 de agosto de 2018 en <https://news.berkeley.edu/2014/03/14/berkeley-physics-phd-takes-particle-fever-to-the-big-screen>

Sánchez-Mora, A. M. (2010) *Introducción a la comunicación escrita de la ciencia*. Xalapa: Universidad Veracruzana.

Shelley, M. (2009) *Frankenstein o El moderno Prometeo*. Madrid: Cátedra.

Silverstone, R. (1984) "Narrative strategies in television science - a case study". *Media, Culture and Society*, vol. 6, pp. 377-410. <https://doi.org/10.1177/016344378400600405>

Tatarkiewicz, W. (2001) *Historia de seis ideas. Arte, belleza, forma, creatividad, mimesis, experiencia estética*. Madrid: Tecnos.

Tosi, V. (1987) *El manual de cine científico*. Ciudad de México: UNAM.

Valek, G. (2002) La divulgación de la ciencia, reto para la comunicación y el periodismo. En J. Tonda, A.M. Sánchez, y N. Chávez (coords.) *Antología de la divulgación de la ciencia en México* (pp.338-342). UNAM.

Van Dijk, J. (2006) "Picturizing science. The science documentary as multimedia spectacle". *International Journal of Cultural Studies*, vol. 9, n. 1, pp. 5-24. <https://doi.org/10.1177/1367877906061162>

Vogler, C. (2002) *El viaje del escritor*. Barcelona: Ma non troppo.

Zimmer, H. (1997) *Mitos y símbolos de la India*. Madrid: Ediciones Siruela.

Zoom F7 (12 de mayo de 2018) *Walter Murch: Las claves para entender su estilo* [archivo de video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=ctgXW_i2t-0&t=1s

Filmografía

Cohen, R., y Feinman, J.P. (Productores). (2008). *Filosofía aquí y ahora*. [serie de televisión]. Buenos Aires, Argentina: Encuentro Productora.

Álvarez, E., y O'Donnell, C. (Productores). (2012). *Grandes Filósofos. Paul Ricoeur*. [serie de televisión]. Buenos Aires, Argentina: Colombo Pashkus, Tranquilo Producciones y Canal (á).

Girard, I., Darondeau, Y., Lioud, C., Priou, E. (productores) y Jacquet, L. (director). (2005). *La marche de l'empereur* [documental]. Francia: Canal +, National Geographic Channel y Wild Bunch.

Hanich, L., y Holtzman, S. (Productores). (2014). *Cosmos: a spacetime odyssey*. [serie de televisión]. California, Estados Unidos: Cosmos Studios, Fuzzy Door Productions, National Geographic Channel y Six Point Harness.

Honeyborne, J. (Productor). (2013). *Africa. Eye to eye with the unknown*. [mini-serie de televisión]. Londres, Inglaterra: BBC, Discovery Channel, CCTV9 y France Television.

Kaplan, D., Levinson, M. (productores) y Levinson, M. (director). (2013). *Particle Fever* [documental]. Estados Unidos: Anthos Media.

McMaster, J. (Productor). (2003). *The elegant universe*. [mini-serie de televisión]. Nueva York, Estados Unidos: NOVA.

Rifkind, C. (productora) y Rifkind, R. (director). (2009). *Naturally Obsessed. The making of a scientist* [documental]. Estados Unidos: ParnassusWorks.

Fuentes vivas

Amador, J. (2017). Seminario del Posgrado en Ciencias Políticas y Sociales. Introducción a la hermenéutica: el discurso y la imagen. 9 febrero 2017.

Amador, J. (2017). Seminario del Posgrado en Ciencias Políticas y Sociales. Introducción a la hermenéutica: el discurso y la imagen. 11 mayo 2017.

Amador, J. (2019). Seminario del Posgrado en Ciencias Políticas y Sociales. Introducción a la hermenéutica: la hermenéutica y la interpretación de la cultura. 7 y 14 de febrero, 7 de marzo de 2019.

Páginas web

Particle Fever

<http://particlefever.com> (consultada entre el 5 de febrero de 2006 y el 30 de marzo de 2020).

Unión Europea

https://europa.eu/european-union/about-eu/symbols/anthem_es (consultada el 2 de junio de 2018).

CERN

<https://home.cern> (consultada entre el 5 de febrero de 2017 y el 30 de marzo de 2020)

<https://home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider> (consultada el 3 de marzo de 2020)