



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

**REPRESENTACIÓN CIENTÍFICA Y RAZONAMIENTO SUBROGATORIO: EL CASO DEL
AXOLOTE MEXICANO COMO VARIABLE SUBROGADA**

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

PRESENTA:

MIGUEL ÁNGEL AMADOR ÁVILA

TUTOR:

DR. ALFONSO ARROYO SANTOS (CIG, UNAM)

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

DICIEMBRE DE 2016



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.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	p.1
CAPÍTULO I. Representación científica y razonamiento subrogatorio en la reconstrucción filosófica de la ciencia de Andoni Ibarra y Thomas Mormann	p. 5
1.-Razonamiento subrogatorio y enfoque performativo de la representación científica: de la preservación estructural a la homología.....	p. 8
1.1.-Enfoque pragmático-representacional.....	p. 8
1.2.-Enfoque homológico-performativo.....	p. 14
2.- Dos concepciones alternativas de razonamiento subrogatorio.....	p. 22
2.1.- Chris Swoyer: razonamiento subrogatorio como preservación de estructuras.....	p. 22
2.2.- Atsushi Shimojima: modelo de razonamiento subrogatorio.....	p. 24
3.- Consideraciones finales: comparación entre propuestas.....	p. 30
CAPÍTULO II. Variables subrogadas: el caso del axolote mexicano	p. 32
1.-Variables subrogadas.....	p. 33
1.1.- Algunas consideraciones respecto a las ‘variables subrogadas’.....	p. 34
2.- El axolote mexicano como variable subrogada.....	p. 36
2.1.- Características del <i>Ambystoma mexicanum</i> y de su ecosistema.....	p. 38
2.2.- Disminución de la población de <i>Ambystoma mexicanum</i> e impacto en su ecosistema.....	p. 42
3.- Observaciones finales.....	p. 44
CAPÍTULO III. Razonamiento subrogatorio: variables y homología	p. 46
1.- Consideraciones críticas en torno al enfoque pragmático representacional.....	p. 47
1.1.- Abducción y subrogación en el enfoque representacional de Ibarra y Mormann....	p. 49
1.2.- Críticas al enfoque de representación homológica.....	p. 52
2.- Distinción entre estrategias de razonamiento subrogatorio.....	p. 57
CONCLUSIONES	p. 62
Referencias bibliográficas	p. 66

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo de Agosto de 2014 a Julio de 2016 para la realización de mis estudios de maestría y a la Universidad Nacional Autónoma de México por las oportunidades brindadas.

Dedico este trabajo a mis padres, Eleazar Amador Hernández e Isaura Ávila Ramírez. Quisiera agradecer el apoyo brindado por mis hermanos Aideé, Alfonso y Aldo. Asimismo, agradezco el apoyo a mis tíos Alfonso, Margarita, Darío y Ana Celia. Mención especial para mis sobrinas Elisa Regina y Ana Sofia.

A mis amigos en la maestría: Ian, Germán, Pablo, Jackeline, Karla, Alonso, Pedro, Arturo, Anabel. También le expreso mi gratitud a mi amigo Beñat Eizagirre Indo (Eskerrik asko lagun eta besarkada handi bat).

Muchas gracias a mi tutor, el Dr. Alfonso Arroyo Santos, porque siempre me brindó su ayuda y sus conocimientos. Mi admiración y respeto para la Dra. Fernanda Samaniego Bañuelos, quien con sus sugerencias enriqueció este trabajo. A la Dra. Ana Rosa Pérez Ransanz, a la que tuve como profesora (la mejor que he tenido), le expreso mis mayores respetos y gran admiración. Al Dr. Raúl Alcalá Campos, le agradezco su ayuda desde los tiempos que cursaba la licenciatura hasta ahora. Muchas gracias al Dr. Arturo Ramos Argott por sus sugerencias y apoyo que ayudaron a enriquecer este trabajo. Naturalmente soy el único responsable de los errores que pueda tener este escrito.

¡Milesker Ilargia!

INTRODUCCIÓN

La representación científica es un medio a partir del cual el ser humano ha adquirido conocimientos de los sistemas, objetos o fenómenos que le han interesado. La idea de representación en ciencia es muy variada y dependiendo de qué se entienda por ella se asumen compromisos sobre los que se desatan discusiones que giran en torno al realismo, la práctica y la semejanza (Cf. Sánchez: 2012). El eje del realismo implica los compromisos ontológicos respecto de las entidades postuladas por una teoría; el eje de la práctica implica el análisis de la actividad que realizan los científicos (lo que constituye las etnografías de laboratorio); y, por último, el eje de la semejanza conlleva elucidar en qué medida las representaciones se asemejan a una parcela u objeto del mundo. En este trabajo abordaremos más los últimos dos ejes, sobre todo el de la semejanza que es en el que se inserta nuestra discusión.

Bajo el eje de la semejanza, por representación científica pueden entenderse muchas cosas, hay quienes la conciben como una relación isomórfica entre el objeto representado y el sistema representante (Cf. Suppes: 2002) teniendo así una relación de semejanza objetual, estructural y lógica entre los correlatos de la representación; asimismo, también puede verse como una relación de preservación parcial de estructuras, esto es, como un homomorfismo (Cf. Bartels: 2006). Contra esto se posicionan quienes defienden una *concepción inferencial de la representación*, la cual nos dice, *grosso modo*, que un modelo representa un sistema si cumple con dos condiciones: (a) que el modelo sea usado por *alguien* para representar un sistema y (b) que el modelo permita al usuario presentar inferencias específicas del modelo al sistema (Cf. Suárez: 2004). Una de las virtudes de la propuesta inferencial es que nos aleja de concepciones estáticas de la representación (como las de preservación estructural), ponderándola como una actividad. Con lo cual las representaciones pueden ser vistas como instrumentos de guía para la acción, las cuales se modifican en un proceso de vaivén para continuar con una nueva acción (Cf. Ibarra & Zubia: 2009). Es decir, la representación científica es una actividad –performativa- y no sólo una imagen estática de los sistemas representados.

En la constitución de la representación científica juega un papel importante el razonamiento subrogatorio, es su aspecto funcional. Este tipo de argumento lo utilizamos

prima facie para aplicar las ideas de un marco conceptual o sistema representante en un objeto/fenómeno/sistema representado para extraer conclusiones relevantes acerca de este último (Cf. Mundy: 1986). Sostenemos que esto constituye un elemento esencial de la representación. Además, razonar subrogatoriamente significa valerse de una profusa variedad de estrategias para, mediante la representación, avanzar en la comprensión del objeto bajo investigación. Estrategias que van desde el uso de papel y lápiz hasta las más complejas simulaciones computacionales, en estas estrategias podemos concebir a los correlatos de la representación como conjuntos o dominios ordenados (aclararemos esto conforme vayamos avanzando), todo esto depende del uso pragmático del sujeto ocupado en la resolución de un problema (Cf. Barwise & Shimojima: 1995). El uso de alguna estrategia dentro de toda la constelación de ellas trae consigo ciertas restricciones que incidirán en la determinación de una adecuada o inadecuada representación.

Esta investigación tiene como objetivo construir una hoja de ruta que nos permita profundizar en el conocimiento de las estrategias utilizadas para razonar subrogatoriamente, las cuales tienen repercusión en la manera de entender la representación científica. Así, dependiendo de la estrategia podemos concebir a la representación como un isomorfismo o como un homomorfismo, incluso como una relación homológica (en la que se preserva la lógica entre los correlatos). Con ello sostenemos que razonar subrogatoriamente está íntimamente ligado a la representación; y que por ello es necesario un mayor estudio de la dimensión vicariante o subrogatoria inherente a ella. Asimismo, basándonos en el escrutinio de casos en el campo de la biología que involucran variables subrogadas defendemos que el enfoque homológico-performativo propuesto por Andoni Ibarra y Thomas Mormann no es lo suficientemente adecuado para cubrir casos que involucren variables del tipo mencionado. Al llevar a cabo lo anterior, sostenemos que dicho enfoque nos brinda un conocimiento parcial de lo que significa razonar subrogatoriamente.

Ahora bien, no discrepamos respecto al carácter performativo –como actividad- de la representación científica; es más, lo asumimos y creemos que cualquier estudio serio sobre este tópico debe reconocer ese carácter. Nuestra discrepancia reside en que la homología no captura lo esencial, aunque se aproxima bastante, de las representaciones científicas; esto esencial lo atribuimos a la capacidad de seguir diferentes estrategias para inferir

subrogatoriamente, que van más allá de, no se agotan en, preservar las relaciones lógicas o estructurales entre los dominios diferentes que conforman los correlatos de la representación. No lo captura porque lo homológico sólo nos brinda *una* estrategia de subrogación; sostenemos que esa estrategia es distinta de la que se emplea utilizando variables subrogadas para razonar y así representar para conocer el objeto o parcela del mundo bajo investigación. Puesto que con las variables no se necesitan relacionar dominios distintos en los cuales las inferencias obtenidas en uno de ellos, al ser interpretadas de cierto modo, explican o predicen ciertos estados de cosas o procesos que acontecen en el otro.

Con base en lo dicho, en el capítulo I, el objetivo es comprender la noción de razonamiento subrogatorio bajo la reconstrucción filosófica de la ciencia llevada a cabo por Ibarra y Mormann. Nuestra tarea será llevar a cabo un escrutinio de esta propuesta exhibiendo lo que entienden por representación científica y la estrategia subrogatoria que subyace a esa noción. Luego, con el fin de enriquecer nuestro conocimiento acerca de la subrogación nos ocuparemos en analizar sucintamente dos concepciones alternativas de este razonamiento, las cuales son defendidas por Chris Swoyer y Atsushi Shimojima. En el caso de Swoyer, éste basa su concepción en la similaridad estructural mediante propiedades ínsitas a los elementos pertenecientes a los conjuntos correlatos de la representación; mientras que para Shimojima, la inferencia subrogada se basa en una especie de *match* que preserva la lógica entre sistema representante y sistema representado. Veremos que la estrategia postulada por Ibarra y Mormann no concuerda con esas caracterizaciones porque concebir a los correlatos de la representación como conjuntos y no como dominios ordenados conlleva que no podemos salir de las ideas de homomorfismo e isomorfismo; de ahí que introduzcan el concepto de homología como una generalización de esos tipos (conforme avancemos aclararemos lo anterior).

Toda vez que hemos descrito las características principales del enfoque homológico y elaborada una breve descripción de estrategias de subrogación, nos enfocamos en el caso del axolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*). El objetivo inicial en el capítulo II es entender cómo el *Ambystoma mexicanum* como variable subrogada es un bioindicador del estado de salud del ecosistema en el que habita (la zona lacustre de Xochimilco). Para ello

tenemos que entender qué es una variable subrogada y cómo los científicos, en concreto los biólogos, se valen de esta estrategia para resolver problemas multifactoriales en su práctica científica. Asimismo, exponemos todo lo relacionado al axolote mexicano, esto es, su constitución, hábitat, alimentación, etc., con el fin de atisbar la complejidad inherente al estudio tanto de una especie en particular como la de un ecosistema en general. Resaltamos la capacidad de reducir la complejidad al agrupar entidades o procesos mediante la estrategia metodológica de las variables subrogadas. Con base en ello, del caso del axolote, ligamos pues los factores involucrados con la posible extinción de esta especie con la salud y resiliencia del ecosistema. Posteriormente sintetizamos las características inherentes a esta estrategia para, en el capítulo siguiente, compararlas con la estrategia seguida por Ibarra y Mormann.

Finalmente, en el capítulo III, nuestro objetivo es entender de qué manera la estrategia metodológica del uso de variables subrogadas constituye la base para adelantar algunas observaciones críticas a la noción de razonamiento subrogatorio defendida por Ibarra y Mormann. Con lo cual esperamos un mayor enriquecimiento de esta noción. Para ello, volvemos sobre la noción de homología y tratamos de ligarla con el concepto de abducción (basándonos en las ideas de Atocha Aliseda). Ulteriormente, presentamos los argumentos de Sergio Martínez contra el enfoque representacional homológico de Ibarra y Mormann, así como la respuesta de estos autores. Nos suscribimos a algunos puntos críticos señalados por Martínez que tienen que ver con el *diagrama de Hertz*; esto conduce a nuestras observaciones. Terminamos haciendo una comparación entre las estrategias que se enfocan en preservación estructural o lógica y las que se basan en variables subrogadas, resaltando sus diferencias, con lo cual sostenemos que la propuesta de Ibarra y Mormann no es adecuada para tratar casos que involucren tales variables.

CAPÍTULO I

Representación científica y razonamiento subrogatorio en la reconstrucción filosófica de la ciencia de Andoni Ibarra y Thomas Mormann

La filosofía de la ciencia tiene como uno de sus objetivos el análisis de los resultados o productos de la actividad científica. Estos productos, por ejemplo, son sistemas conceptuales (teorías o modelos científicos), los cuales nos brindan un tipo de conocimiento distinto del saber del sentido común de nuestras experiencias cotidianas (Cf. Lorenzano: 2004). Con base en algunas de las ideas de Luis Villoro (Cf. Villoro: 2011, 198) podemos entender ‘conocimiento’ como ‘creencia justificada por razones objetivamente suficientes’. De manera que la ciencia nos brinda un conocimiento sistemático e intersubjetivo de los sistemas o fenómenos del mundo, que son objeto de investigación. Asimismo, otro de los objetivos de la filosofía de la ciencia es analizar la actividad científica en sí misma, estos es, los procesos de producción en los que urgen y se corrigen dichos sistemas conceptuales.

Una de las maneras de entender tanto la actividad científica como los productos que de ella se derivan es mediante el concepto de representación científica. Decimos que los científicos representan cierta parcela o fenómeno de la naturaleza con el fin de conocerlo (Cf. Boesch: 2016); o que la práctica científica consiste en la producción, combinación, interpretación y reinterpretación de representaciones (*Idem*). Pero ¿qué es lo que puede entenderse por representación científica?

La noción de representación en ciencia es muy amplia y puede ser tratada desde muy diversos enfoques. Hay quienes conciben la representación científica como una relación isomórfica¹ entre el objeto representado y el sistema representante (Cf. Suppes: 2002) (esto

¹ Para aclarar: un isomorfismo (o morfismo reversible) se mantiene entre dos conjuntos si existe una función biyectiva (uno-a-uno) que une a ambos. Decimos que un conjunto A es isomórfico a un conjunto B (y viceversa) si existe una función (f) que puede ser construida entre A y B que toma a cada miembro del conjunto A y lo relaciona –mapea- a uno y sólo un miembro del conjunto B tal que cada miembro del conjunto B está relacionado –mapeado- con uno y sólo uno de los miembros del conjunto A. Por ejemplo, sea A el conjunto de las letras mayúsculas del abecedario y B el conjunto de los números naturales \mathbb{N} que va del 1 al 26; podríamos crear una función toda vez que al dar una letra del abecedario obtenemos un número: por ejemplo, la función conforme al orden del abecedario nos daría $f(A) = 1, f(B) = 2$, etc. Esta función es biyectiva porque a cada letra se le relaciona -mapea- uno y sólo uno de los elementos de los

implica que los correlatos guardan semejanza objetual, estructural y lógica) o como un isomorfismo parcial (Cf. French: 2003). Respecto a esta concepción han surgido críticas que van dirigidas a señalar que los isomorfismos tienen propiedades formales que no tienen las representaciones (sea en ciencia y arte) tales como simetría, reflexividad y transitividad (Cf. Frigg: 2010)² o no dan cuenta del fenómeno de la *misrepresentation*³(Cf. Pero & Suárez: 2016). Para tratar de evadir estas críticas algunos conciben a la representación como una relación más débil de preservación de estructuras, esto es, como un homomorfismo (Cf. Ibarra & Mormann: 1997a y 1997b; Bartels: 2006). Estas concepciones de representación son cuestionadas por nuevos enfoques en los que lo representado no se presenta como algo ya dado sino como algo constituido en el proceso mismo de representación, es decir, la representación no se agota en establecer que los correlatos guardan, por ejemplo, una relación de preservación estructural.

La representación tiene que concebirse como un proceso en el que se describe el objeto de estudio y simultáneamente se interviene sobre él (Cf. Ibarra & Larrañaga: 2009, 371). Es decir, la representación científica es una actividad y no sólo una imagen estática de los sistemas representados, lo cual nos permite vislumbrar el aspecto performativo –dinámico– de ésta (Cf. Ibarra & Mormann: 2006, 2007; Ibarra & Txapartegi: 2016).

miembros del conjunto de los números (1-26); asimismo, a cada número se le asigna una y sólo una letra, así podemos definir una función inversa $f^{-1}(1) = A$, $f^{-1}(2) = B$, etc. (Cfr. Boesch: 2016).

Un caso paradigmático de isomorfismo en la filosofía de la ciencia lo encontramos en (van Fraassen: 1996), ahí Bas van Fraassen sostiene que una teoría científica será representacionalmente exitosa si y sólo si existe tanto una relación isomórfica entre subestructuras empíricas y apariencias, así como un isomorfismo entre los modelos teóricos y las subestructuras empíricas.

² Estas críticas son una continuación de las ideas de Nelson Goodman en (Goodman: 1968, 4-5). A lo que Roman Frigg se refiere es a lo siguiente: (a) Simetría: Si A es isomórfico a B, luego B es isomórfico a A (dada su reversibilidad). Pero si A representa a B, no se sigue que B necesite representar a A (esto a menudo es raro); a guisa de ejemplo, podemos decir que una fotografía de mí me representa pero no se sigue que yo represente a la fotografía. (b) Reflexividad: todo es isomórfico a sí-mismo pero la mayoría de las cosas no se representan a sí-mismas: un mapa puede representar a la Ciudad de México pero no decimos que el mapa se represente a sí-mismo. (c) Transitividad: el isomorfismo es transitivo pero no la representación: decimos que uno de los cuadros más famosos que pintó Botticelli *representa el nacimiento de Venus*, ahora bien si vemos una fotografía de dicho cuadro en una revista no podemos decir que la fotografía representa el nacimiento de Venus (Cfr. Frigg: 2003, 30-31).

³ Dejamos a propósito la palabra en Inglés porque no nos fiamos de las posibles traducciones en castellano, ya que éstas connotan rasgos negativos: tergiversación, falsificación, etc. Siguiendo a Pero y Suárez (Pero & Suárez: 2016) decimos que una representación *misrepresent* porque, al describirlo, no nos da una imagen exacta del objeto representado y porque al representarlo tiene que simplificar ciertas características de él (dando como resultado descripciones idealizadas del objeto como planos sin fricción, gases ideales, etc.).

³ Para ver las críticas contra este tipo de representación remito al lector al artículo de (Pero & Suárez: 2016).

En la constitución de la representación científica juega un papel importante el razonamiento subrogatorio, como puede verse no sólo en el enfoque propuesto por Ibarra y Mormann sino que en concepciones como la *inferencial*⁴ (desarrollada por Mauricio Suárez) e *interpretacional*⁵ (defendida por Gabriele Contessa). Este tipo de razonamiento lo utilizamos para aplicar las ideas de un marco conceptual, llamémosle sistema B, en sistema A para que mediante la transferencia de inferencias de B a propiedades o relaciones identificadas en A podamos extraer conclusiones relevantes de este último sistema (Cf. Ibarra & Mormann: 2000).

En lo que sigue nuestro objetivo es comprender la naturaleza del razonamiento subrogatorio con base en el enfoque representacional de la ciencia desarrollado por Ibarra y Mormann (también lo denominaremos *performativo*, más adelante daremos las razones). Si llevamos a cabo lo anterior, entonces esto nos dará la base para determinar ulteriormente cuáles son las características que no permiten que su propuesta pueda satisfactoriamente dar cuenta de casos que involucren variables subrogadas (en el segundo capítulo explicamos a qué nos referimos por esta noción); o, en una afirmación menos fuerte o tajante, ver cómo es difícil utilizando su modelo tratar con casos que involucren dichas variables. De manera que en este capítulo describimos la naturaleza del enfoque performativo para ver cómo caracterizan a la inferencia subrogatoria, para que comparemos ulteriormente dicha caracterización respecto a otras (nos referimos a las propuestas de Chris Swoyer y Atsushi Shimojima). Lo cual determina la estructura del capítulo.

El capítulo está dividido en tres partes. En la primera, la más extensa del trabajo, exponemos los lineamientos básicos del enfoque performativo de la representación desarrollado por Ibarra y Mormann, con el fin de caracterizar la inferencia subrogatoria. En la segunda parte, describimos en líneas generales las características de las propuestas de Swoyer y Shimojima. Toda vez que hemos llevado a cabo lo anterior, en la tercera parte

⁴ La cual nos dice, *grosso modo*, que un modelo representa un sistema si cumple con dos condiciones: (a) que el modelo sea usado *por alguien* para representar un sistema y (b) que el modelo permita al usuario presentar inferencias del modelo al sistema (Cf. Suárez: 2004).

⁵ La idea fundamental de esta concepción reside en que un usuario interpreta a un vehículo representacional (sistema representante) en términos de un objetivo (sistema representado) si toma los hechos del vehículo para representar los hechos (putativos) acerca del objetivo, con lo cual se pone en marcha el razonamiento subrogatorio. Para un mayor estudio de esta propuesta véase (Contessa: 2007b).

nos enfocamos sucintamente en una comparación entre las diferentes caracterizaciones de razonamiento subrogatorio, con el fin de destacar la propuesta de Ibarra y Mormann.

1. Razonamiento subrogatorio y enfoque performativo de la representación científica: de la preservación estructural a la homología.

El objetivo de esta sección es delinear las ideas representacionales de Andoni Ibarra y Thomas Mormann en la conformación de su enfoque filosófico de la actividad científica. En el devenir histórico de su propuesta, como es natural, ésta ha sufrido modificaciones que inciden en su manera de entender el concepto de representación científica; esto va a influir cuando identifiquemos las características o notas que connota la noción de razonamiento subrogatorio ínsita en el enfoque.

La obra de Ibarra y Mormann respecto al tema de la representación en ciencia es bastante profusa. Podemos distinguir dos momentos en ella. En un primer momento defienden un enfoque pragmático-representacional cuyo eje es la representación como aplicación preservadora de estructuras. En un segundo momento desarrollan un enfoque homológico-performativo que gira en torno a la idea de representación como preservación de relaciones lógicas. En lo que sigue nos enfocaremos en el escrutinio de ambos momentos para extraer una caracterización del razonamiento subrogatorio.

1.1. Enfoque pragmático-representacional.

Este enfoque puede desglosarse con base en dos aspectos: (1) mecanismos de producción representacional y (2) marco de elaboración de decisiones. En este contexto, el primer punto refiere a la representación como preservación de estructuras y el segundo a su dimensión pragmática.

(A) Mecanismos de producción representacional.

Respecto a los mecanismos de producción representacional, en este enfoque se refiere a distinguir en la actividad científica dos niveles⁶: el nivel de los datos (D) y el nivel de los constructos simbólicos (C), así la actividad científica se concibe como un movimiento de

⁶ En (Ibarra & Mormann: 1992a) se defiende la tesis de que, aunque disimilares en otros aspectos, las teorías empíricas y matemáticas comparten esa estructura representacional. Aquí se da por sentada esta tesis.

vaivén en el cual tiene que haber una correspondencia permanente y extensiva entre D y C ⁷, mediante dos aplicaciones f y s , que constituyen un homomorfismo. Así, a guisa de descripción, la actividad científica comienza con una pre-comprensión de los datos; luego, los incrustamos y representamos en una estructura explicativa de constructos simbólicos, con lo cual usamos C para un entendimiento de D , esta descripción es por demás sencilla (pero como veremos más adelante es mucho más compleja). Con ello captamos el propósito, mínimo, de la actividad científica como lo es obtener nueva información de los datos, así como explicarlos y motivar nuevas investigaciones conceptuales en el dominio de constructos simbólicos (Cfr. Ibarra & Mormann: 1992b). Con base en esta acotaciones, a una teoría empírica puede adscribirse el siguiente formato: $f: D \rightarrow C$, en la que la aplicación f ofrece una representación de D por C . Para que haya una correspondencia permanente y extensiva entre los correlatos, f tiene que respetar su estructura –tiene que ser un homomorfismo⁸-. Sin embargo, si nos quedamos con esta imagen inducimos una noción estática de representación, el movimiento de vaivén se completa con la interpretación

⁷ En este punto, Ibarra y Mormann se basan en las ideas de Henry Margenau (Cf. Margenau: 1935) . Lo que importa es que haya una permanente y extensiva correspondencia entre D y C . Para asegurar esto tiene que haber una aplicación f que respete la estructura de ambos dominios. De igual modo, respetar las estructuras depende de la manera como conceptualicemos a D y C . Lo cual nos lleva a ahondar más en su caracterización: (i) Relatividad: la distinción entre D y C no es absoluta, es contextual, pues en un contexto ciertas entidades fungirán como datos y en otro esas mismas como constructos simbólicos (Cfr. Ibarra & Mormann; 1997b). (ii) Pluralidad: pues un dominio D puede ser representado por más de un dominio C y, viceversa, un dominio C puede representar a más de un dominio D (Cfr. Ibarra & Mormann: 1992b). (iii) Utilidad, economía y precisión: los constructos simbólicos C se construyen para ser útiles, en la consecución de un objetivo, es decir, representar con la menor inflación teórica posible una amplia variedad de fenómenos. (iv) Función explicativa, exploratoria y predictiva: C genera un exceso conceptual que puede ser usado para determinar, explicar y predecir ciertos aspectos que no eran accesibles en primeras aproximaciones en los datos; todo esto porque con C incrustamos a D en una estructura conceptual coherente y explicativa, al hacer esto se incita una nueva exploración teórica. Mediante la caracterización de las relaciones entre D y C vemos que son dinámicas. En otras palabras, la correspondencia extensiva y permanente nos genera una imagen de la actividad científica como explicativa, predictiva y exploratoria, concebida como un movimiento oscilatoria –vaivén- entre D y C .

⁸ Un homomorfismo es más general que un isomorfismo. Todos los isomorfismos son homomorfismo pero no todos los homomorfismo son isomorfismos. A diferencia del isomorfismo, el homomorfismo no es una función biyectiva. Esto significa que no todas las partes o relaciones de una teoría deben mapearse uno-a-uno con cada una de las partes o relaciones del sistema que representa la teoría (Cf. Boesch: 2016).

simbólica $s: C \Rightarrow D^9$, éste está estructuralmente caracterizado como un recurso para retrotraer estructuras significativas de C a D vía f , esto es:

Let C be endowed with an order structure \leq . If $f: D \rightarrow C$ is any map \leq may be pulled track to D by the definition

$$d \leq d' := f(d) \leq f(d')$$

In this way, f gives rise to a D-interpretation of structure, originally living on C. In other words, the domain D inherits structures, originally defined only for C. (Ibarra & Mormann: 1997b, p. 64).

Esta ‘D-interpretación’ es lo que proporciona una interpretación empírica a los conceptos teóricos del marco de constructos simbólicos, lo que implica que el significado de tales conceptos no se determina singularizando una referencia objetual, sino en el interior de una teoría. Veamos un ejemplo que nos brindan los autores:

El significado de la expresión <<caída libre de un cuerpo grave>> no se identifica señalando, por ejemplo, un cuerpo que cae en nuestro ámbito de observación. El proceso es más complejo. Los científicos intentan representar matemáticamente, simbólicamente, los cuerpos que caen libremente, reemplazando los objetos por puntos matemáticos. La posición de éstos se representa como una función del tiempo y el movimiento del punto mediante una fórmula que incluye la propiedad dinámica de la aceleración. Finalmente, asignarán un valor constante a esta aceleración. (Ibarra & Mormann: 1992a, p. 74).

En este proceso la D-interpretación es <<caída libre de un cuerpo grave>>, puesto que opera la transformación de concebir de manera común al <<objeto que cae>> a incrustarlo en una estructura simbólica para adjuntarle ciertas propiedades¹⁰. La postura del enfoque es clara en estos respectos de significado, expresados en tres tesis: (1) la relación de representación vincula lo representado con el constructo simbólico (representante) preservando su estructura¹¹; (2) la relación de representación no es de denotación, pues la representación induce un excedente teórico irreducible a lo denotado, lo cual imposibilita

⁹ La diferencia entre f y s se precisará más adelante.

¹⁰ En <<incrustarlo en una estructura simbólica>> opera la función f y en <<adjuntarle ciertas propiedades>> opera la función s .

¹¹ Esto será modificado en la segunda etapa del Enfoque.

su identificación con él; (3) de (1) y (2) se sigue que el significado de los términos científicos se determina por la relación de representación y por la estructura teórica en la que aparecen (Cf. 1992a, p. 75). Ello nos lleva a expresar que D y C son nuestro universo del discurso; por lo que no es conveniente bajo este marco preguntarse, con tintes de realismo ingenuo, si las entidades de las que habla una teoría “existen” y mucho menos responder con un lacónico sí o no¹².

(B) Dimensión pragmática de la representación.

La intención de Ibarra y Mormann es revisar el papel de la pragmática centrada en la figura del interpretante¹³ para no caer en una concepción reduccionista de representación (Cf. Ibarra & Mormann: 1994; Ibarra: 1999), en este contexto ‘reduccionista’ significa que la representación es una relación diádica entre representante y representado. Siguiendo a Peirce, conciben a la representación como una relación tripartita¹⁴. Lo cual los conduce a formular el Principio de Representación (PR): “La representación es representación de *algo por medio de algo para algo*” (Ibarra & Mormann: 1994, 170). La primera parte del principio, es decir, la nota distintiva <<de algo por medio de algo>>, en este contexto implica que ambos correlatos de la representación tienen que guardar una relación de homomorfía (esta nota se modificará en la segunda concepción, en donde veremos que

¹² Puede decirse que es una postura “realista interna” que conlleva asumir la existencia de una realidad a la par que considera que el sujeto constituye dicha realidad (Cf. Sánchez: 2012); es así como Ana Rosa Pérez Ransanz caracteriza el realismo propuesto por Ibarra y Mormann porque: “a) La noción de objeto como objeto conceptualmente constituido [...] b) El rechazo de la idea de verdad como correspondencia metafísica [...] Al analizar la relación entre los conceptos y los objetos, estos autores rechazan la idea de objeto como <<algo que preexiste al saber>>, idea que corresponderá a la noción de <<objeto autoidentificante>> que Putnam califica de sinsentido, y suscriben la noción de objeto como <<producto de un proceso de constitución conceptual>> [...] proceso que opera desde el nivel mismo de la percepción” (Pérez Ransanz: 2000, 115-116).

Pero Ibarra y Mormann dirán suscribirse a un realismo contingente que es más cercano a las posturas de Pickering o de Hacking (Cf. Ibarra & Mormann: 2000). Aunque León Olivé (Cf. Olivé: 2003, 24) refiere que el realismo contingente no es ajeno al realismo interno.

¹³ El “interpretante” peirceano, como instancia terciaria, no es un mero “sujeto interpretante” tal como es concebido en la versión psicologista que brinda Charles Morris de la propuesta de Peirce (Cf. Ibarra & Mormann: 1994, 166). El interpretante peirceano puede entenderse como un sistema teórico/formal utilizado para determinar el objeto de un signo.

¹⁴ Es digno de resaltar que este principio tiene su precedente en la filosofía kantiana, puesto que el conocimiento es una actividad en la que las representaciones no se refieren a nada por sí mismas sino que son el producto de la intencionalidad del sujeto; así pues, la objetividad es el logro que el sujeto activo construye (Cfr. Ibarra & Uribarri: 2000, p. 68).

dichos correlatos tienen que ser homólogos). En cuanto a la segunda parte, la nota <<para algo>> remite a la determinación progresiva del objeto de la representación posibilitada por la cadena de posibles interpretantes, cuya elección compete a los usuarios de la teoría. Así los objetos son constituidos en el proceso mismo de la representación¹⁵. Ahora ocupémonos de algunos propósitos complementarios de la representación, a saber: inducción y reducción de complejidad¹⁶.

Reducción de complejidad. La representación sirve para reducir la complejidad superflua. Utilicemos un caso para ilustrar esto. Supongamos que soy dueño de una enorme tienda que comercia con partes automotrices. Cada vez que un cliente pide cierto objeto (puede ser un carburador, faros, etc., de cierto modelo de automóvil) sería muy laborioso y cansado tener que escudriñar cada estante de la enorme tienda buscando dicho producto. En vez de eso me basaré en el registro, inventario, electrónico de cada autoparte con el fin de hallar en el menor tiempo posible la localización del mentado producto. La ficha electrónica contiene la información necesaria para identificar y localizar el producto, dándole al cliente lo que pide. En este caso vemos que la ficha electrónica redujo la complejidad al sintetizar los elementos clave para la identificación del objeto; con lo cual, la ficha funciona como representación del producto. En general, los objetos representantes funcionan como

¹⁵ Nuestros autores se basan en la concepción de Ernst Cassirer de que los *objetos* no están *ahí afuera* sino que son constituidos en el proceso mismo de la representación, como invariantes de la experiencia. Con este proceso de constitución, Cassirer quiere hacernos ver que la dicotomía subjetivo/objetivo sólo es un ardid metodológico, pues de lo que podemos hablar es de grados de objetividad con base en esas invariantes de la experiencia. La objetividad se va constituyendo en el proceso de construcción teórica (Cf. Ibarra & Mormann: 1994, 173 y ss.). Es decir, en la producción de un signo como una representación generado por la mediación de otro signo, el interpretante; el cual sintetiza el máximo la información relativa al objeto –del signo– fijada por los signos que en su conjunto forman un sistema de representaciones del objeto a través de diferentes caminos, este proceso es de sistematización. Así:

El significado del objeto se adhiere a esa sistematización, en virtud de las semejanzas y disemejanzas –o, más precisamente, de determinadas propiedades estructurales– de las representaciones reveladas por los interpretantes [...] el significado del objeto se crea en el modo como, siguiendo una regla de *traducción*, un nivel de estructuración –el objeto– es representado por otro. El significado no es, por lo tanto, inherente al objeto, sino que se determina en ese proceso de representación del que el objeto no es sino una instancia que lo ancla. El *cluster* de interpretantes crea significados nuevos. De ahí que el proceso no sea arbitrario, sino por el propósito de profundizar intensionalmente en el significado. En este aspecto intencional se identifica el *para algo* de la segunda parte de nuestro principio (PR). (Ibarra & Mormann: 1997a, p. 274).

¹⁶ Para esto nos basamos en el capítulo 6 de (Ibarra & Mormann: 1997a).

<sustitutos> de los objetos representados. No obstante, así como la representación reduce también añade complejidad.

Inducción de complejidad. Lo que complementa un sistema representante es la noción de inducción de complejidad. Siguiendo el método utilizado en el otro caso, veamos un ejemplo para entender intuitivamente este tópico. Por ejemplo, cuando un dominio D de objetos o entidades empíricas va a ser medido por el dominio C –cuyo conjunto base son los \mathbb{R} –, resulta que el dominio representante tiene una estructura matemática más rica que no se corresponde directamente con nada del sistema representado. Esto es, muchas operaciones aritméticas, como la división o la exponenciación están definidas sólo para los números reales, pero no para los miembros del dominio empírico –para las entidades empíricas–. En otras palabras, el lenguaje del dominio representante contiene muchos conceptos que no son traducibles directamente a conceptos o proposiciones del lenguaje del dominio representado. No obstante, la nueva complejidad del dominio representante no ha de interpretarse como superflua, ya que es este excedente el que faculta la producción de un nuevo saber acerca del dominio representado: “en nuestro caso paradigmático de la medida numérica, la compleja estructura matemática del dominio de los números reales es utilizada para desarrollar una teoría de la clasificación y aproximación de los objetos empíricos a medir” (1997a, p. 291). Por ello es importante la elección de un sistema representante con una rica estructura que faculte poder realizar inferencias relevantes para determinar nuestro objeto de estudio.

En resumidas cuentas:

El aspecto más relevante de todas esas representaciones reside en el hecho de que las reglas de inferencia del sistema representante son más transparentes que las reglas del sistema representado. Esta estimación, sin embargo, no es directamente correlativa, sino de naturaleza *abductiva*. La *abducción representacional* permite elucidar el carácter inductivo del propósito de la representación. La representación, en efecto, es una especie de traducción establecida en un registro no neutral. La traducción abductiva faculta el descubrimiento de aspectos del sistema representado, que no podrían haber sido explicitados –o podrían haberlo sido más penosamente– sin el concurso de la representación. Esta función inductiva de la representación no se limita de ningún modo al ámbito de la matemática sino que es característica también de las teorías científicas. (1997a, 292).

Sólo resta mencionar, en conclusión, que tanto inducción y reducción de complejidad son características de la representación que se hacen patentes por el papel del interpretante –son netamente pragmáticos.

1.2. Enfoque homológico-performativo.

En “Una teoría combinatoria de las representaciones científicas” Ibarra y Mormann se distancian de las concepciones de representación como preservación de estructuras (homomorfismo, isomorfismo, etc.). Presentan el concepto de representación homológica que es una generalización del concepto de representación preservadora de estructuras (Cf. Ibarra & Mormann: 2000, 4), el cual es más adecuado para, por ejemplo, ocuparse del aspecto combinatorio de las representaciones (Cf. Ibarra & Mormann: 2005). El programa teórico de la representación desarrollado por nuestros autores se centra en explicar las prácticas científicas como prácticas de producción de representaciones que se iteran y en analizar los mecanismos que facultan una comprensión performativa –dinámica- de la representación. Los lineamientos básicos para la construcción de su teoría de la representación científica son:

- (1) La representación científica es un concepto complejo y no reductivo a un simple reflejo especular o copia¹⁷ –isomorfismo-; vemos que esto no es así gracias al estudio de reducción e inducción de complejidad que muestra su irreductibilidad. La representación homológica es la noción más no-isomórfica. (Cf. Ibarra: 2003, 16).
- (2) No sólo hay que ceñirse a representaciones científicas cuyo soporte son las matemáticas sino que también debemos considerar otros tipos de representaciones materiales, visuales, proposicionales, etc. (Cf. *Idem*).
- (3) Las representaciones aparecen en grupos y pueden iterarse o combinarse de diversos modos, se pueden iterar de manera lineal o no-lineal. Las teorías científicas a menudo comprenden en su constitución una mezcla entre representaciones matemáticas, materiales, visuales, proposicionales, etc. (Cf. *Idem*).

¹⁷ En (Ibarra & Txapartegi: 2016) se ahonda en los presupuestos detrás del concepto de representación como copia: (a) ontología realista ingenua; (b) epistemología enraizada en la referencia directa para el conocimiento; y (c) teoría correspondentista de la verdad. Estos presupuestos conciben a un sujeto pasivo (espectador).

- (4) Las representaciones necesitan ser interpretadas (no son evidentes). Una parte considerable de la actividad científica consiste en interpretar y reinterpretar representaciones: “La representación es un concepto reflexivo y, consiguientemente, una teoría de la representación científica debe considerar diversos tipos de representaciones de representaciones. Es decir, una teoría así puede concebirse como una teoría *reflexiva combinatoria* de las representaciones” (Ibarra & Mormann: 2000, 6).
- (5) El objetivo básico de las representaciones científicas es la realización del razonamiento subrogatorio. El cual consiste en permitir la transferencia de inferencias y resultados obtenidos en el dominio representante a propiedades y relaciones identificadas en el dominio representado; como la estructura del ámbito representante es más rica que la del representado, el razonamiento subrogatorio permite explotar el rendimiento de las teorías identificables en el dominio representante aplicándolas al dominio representado: “Una teoría de las representaciones científicas debe dar cuenta de este objetivo esencial de la práctica representacional” (*Idem*).

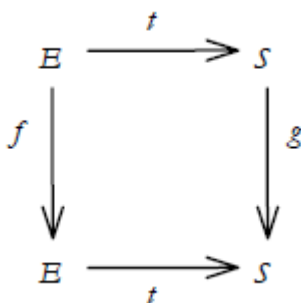
Podemos decir basándonos en el (PR) que: “Una representación es siempre una representación *de* algo (A) *por* algo (B) *para* algo (C)” (2000, 7), que los puntos (1) y (2) corresponden a la primera parte del principio puesto que nos indican las estrategias para representar algo *por* algo; mientras que los puntos (3) y (4) refieren a la dimensión pragmática al enfatizar que las representaciones están ancladas a la intencionalidad del sujeto, el *para* algo, y que además se generan en una estructura reticular; finalmente, (5) es el motor que pone en marcha el proceso representacional. Ahora bien, ocupémonos de uno de los elementos para dilucidar el concepto de representación homológica, como lo es el *Diagrama de Hertz*; para ulteriormente ocuparnos de las conexiones de Galois, otro rasgo importante para la dilucidación de la homología.

(C) Diagrama de Hertz y Conexiones de Galois

La homología no connota ni semejanza objetual ni preservación estructural. Ibarra y Mormann delinearán esta noción de homología con base en las ideas de los científicos y filósofos Heinrich Hertz y Pierre Duhem. Para ellos la actividad científica se enfoca en la

búsqueda de simetrías¹⁸. En específico, para Duhem las simetrías se establecen entre la parte ‘real’ y la parte ‘simbólica’ de la teoría.

Hertz describe el proceso genral por el cual las teorías empíricas realizan predicciones, esto requiere que se cumpla el requisito de simetría entre las <<consecuencias naturalmente necesarias>> y las <<consecuencias intelectualmente necesarias>>, lo que apunta a una cierta conformidad entre la naturaleza y nuestro pensamiento¹⁹. Ibarra y Mormann plasman esa idea de simetría en lo que ellos denominan <<diagrama de Hertz>>. Veamos cómo²⁰: Sea E el conjunto de los “objetos externos” y S el conjunto de las “representaciones”, construimos el diagrama:



El diagrama se interpreta de la siguiente forma: la flecha horizontal t corresponde a lo que Hertz llama “formación de imágenes o representaciones”. En concreto, si $e \in E$ es un conjunto externo, $t_{(e)} \in S$ es la representación que le corresponde. Dicho de otro modo $t_{(e)}$ puede ser considerado como la contraparte teórica de e . Por otra parte, la flecha vertical a la izquierda f se concibe como un proceso o un experimento que necesariamente trae consigo el hecho empírico o externo de que e cambia a otro hecho externo o empírico $f_{(e)} \in E$. En términos de Hertz, $f_{(e)}$ es la ‘consecuencia naturalmente necesaria’ de e . Análogamente, la flecha vertical g en la derecha puede ser interpretada como un cálculo matemático o un argumento lógico que nos lleva desde un símbolo $s \in S$ a otro símbolo $g_{(s)}$. Esto debe ser interpretado como el resultado o la conclusión de una operación

¹⁸ Como apunta León Olivé (Olivé: 2004, 166) que de distinta manera tanto Hertz como Duhem señalaron que el éxito de un experimento o la realización de predicciones exitosas requiere de la concordancia entre dos tipos de procesos: los empíricos, por un lado, y su representación teórica por otro.

¹⁹ Para ahondar más en torno a las ideas de hertz remito al lector a (Hertz: 1956).

²⁰ A partir de aquí sigo plenamente la explicación que hacen del diagrama nuestros autores en (Ibarra & Mormann: 2005, 2006, 2007).

simbólica g . En palabras de Hertz, es la ‘consecuencia intelectualmente necesaria’ de s (Cfr. Ibarra & Mormann: 2005, 6).

La simetría entre ambas <necesidades> sugiere que la representación se da a *distancia* donde se pondera la preservación de relaciones. Los elementos del diagrama son interdependientes pues forman un diagrama conmutativo en el que las representaciones de las consecuencias intelectualmente necesarias siempre son representaciones de las consecuencias naturalmente necesarias. Veamos esta conmutatividad del diagrama de la siguiente manera; hay que asumir que t, f, g satisfacen la ley de concatenación $g \circ t = t \circ f$. Esta ley puede ser interpretada como sigue: si comenzamos con un hecho empírico e , ubicado en la esquina superior del diagrama de Hertz, éste puede ser simbolizado por su contraparte teórica $t_{(e)}$, y usar esta contraparte teórica como la entrada para realizar un cálculo lógico que nos lleva a $g \circ t_{(e)}$; así, este resultado es el mismo que haber sometido el hecho empírico e a una transformación experimental f , es decir, llegando a $f_{(e)}$; y traduciendo este hecho experimental $f_{(e)}$ por t resulta finalmente que $t \circ f_{(e)} = g \circ t_{(e)}$. En específico:

Los dos senderos en el diagrama de Hertz son estructuralmente equivalentes, ya que ellos pueden ser considerados como el camino que conduce al único y mismo destino. Como un ejemplo elemental considérese a e como una sustancia química que es sometida a cierto experimento f que, decimos, oxida e produciendo como consecuencia otra sustancia química $f_{(e)}$. Para esta operación una teoría química ya ha dado una fórmula $t_{(e)}$ para e , y una transformación teórica $g(t_{(e)})$ de $t_{(e)}$ tal que $t(f_{(e)}) = g(t_{(e)})$. Como ha enfatizado Hertz, dado E pueden haber diferentes “representaciones competidoras” S, S' . La elección de ellas es una cuestión pragmática de simplicidad y utilidad. Puede suceder que para diferentes propósitos sean apropiadas diferentes representaciones. (Ibarra & Mormann: 2006, 22).

La representación homóloga es la correlación entre procesos causales –transformaciones de entidades empíricas- y procesos lógicos –transformaciones simbólicas.

El complemento del diagrama es la concepción de representación de Duhem en la que ésta es una correspondencia entre ‘hechos prácticos’ y ‘hechos simbólicos o teóricos’. Expresado por el propio Duhem: “[...] un experimento en física no es solamente la

constatación 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. Como resultado, el físico compara *incesantemente* dos instrumentos entre sí, el instrumento real que manipula, y el instrumento ideal y simbólico sobre el que razona” (Duhem: 1906 (citado por Ibarra: 2003a, 36).

Con base en esas ideas, Ibarra y Mormann denotan la clase hechos simbólicos mediante S y la de los hechos prácticos con E . Entonces una teoría T puede ser reconocida como una relación $T \subseteq EXS$, deonde $(e, s) \in T$ significa que el hecho empírico e está relacionado al hecho teórico s , o a la inversa. Esta relación puede tildarse de polivalente ya que a un hecho s pueden corresponderle una multitud de hechos e . No obstante, Ibarra y Mormann expresan que $T \subseteq EXS$ no permite decidir si T es o no correcta, pues sólo relaciona hechos empíricos con simbólicos. Para determinar cuándo T es correcta se tiene que cambiar la estrategia y sustituir las relaciones y estructuras teórico-conjuntistas por relaciones de orden y dominios ordenados²¹. Esto supone concebirlas como situaciones adjuntas –conexiones de Galois- con lo cual vemos que una teoría es adecuada porque asegura una relación entre lo empírico y lo teórico, capturando la idea de que una teoría tiene o debería de corresponder de algún modo con los hechos²².

(D) Características performativas del concepto de representación científica.

Las características de un concepto performativo de representación científica son: (i) estudiar la representación con base en la práctica científica; como vimos el enfoque

²¹ Los detalles técnicos y la demostración de esta estrategia pueden verse en (Ibarra & Mormann: 2006, 2007). La idea es que si nos quedamos con un lenguaje teórico-conjuntista, entonces la relación $T \subseteq EXS$ será isomórfica; para romper con esto se cambia a relaciones y dominios de orden.

²² Como dicen Thomas Mormann y Andoni Ibarra se requiere que existan aplicaciones preservadoras de orden $U \xrightarrow{e} V$ y $V \xrightarrow{t} U$ tal que (e, t) sea una conexión de Galois entre ambas. Con ello se concibe una teoría empírica como una situación adjunta (F, G) entre una categoría U y otra categoría V de hechos empíricos. Resulta que una teoría es correcta si satisface la equivalencia de Galois:

$$e(x) \leq a \text{ sii } x \leq t(a), x \in U \text{ y } a \in V$$

Informalmente, una teoría es adecuada si la representación empírica $e(x)$ del hecho teórico trae consigo el hecho empírico a si y sólo si el hecho teórico x implica la idealización $t(a)$ del hecho empírico a . Nuestros autores van más allá y nos dicen: “Una ley teórica puede concebirse, entonces, como un plan para la construcción de la máquina nomológica o aparato experimental $e(x)$ que produce como resultado el hecho empírico a . La conexión de Galois enuncia, en consecuencia, que [...] La máquina nomológica $e(x)$ produce el hecho empírico a ssi La ley teórica x implica una versión idealizada $t(a)$ de a ” (Ibarra & Mormann: 2007, 125-126).

representacional de Ibarra y Mormann se centra en esta práctica al reconocer los mecanismo de producción de representaciones y a quienes²³ participan en la constitución y usos de éstas. (ii) Su carácter combinatorio²⁴ que caracteriza a la actividad en ciencia como una constante cadena de producción, interpretación y reinterpretación de representaciones; exhibiéndola como un proceso de vaivén, así, en ese proceso, las representaciones se modifican constantemente para continuar con una nueva acción. (iii) Representación e intervención no están disociados, ya que al representar ya estamos interviniendo en el objeto de investigación²⁵. (iv) En la práctica representacional opera una dialéctica de ajuste constante entre hechos empíricos y hechos simbólicos que implica la constitución de <<nuevas realidades>>, es decir como una práctica de resistencia y acomodación entre los ámbitos de los hechos²⁶. (v) La representación no es ni la copia ni el sustituto simple y llano de un referente previo sino que tiene que concebirse como el proceso resultante de guías y pautas para construir complejos espacios de representación, espacio en los que las entidades constituidas representacionalmente adquieren significado²⁷; esto también es debido a la reducción e inducción de complejidad. (vi) Las representaciones son instrumentos de guía para la acción, con lo cual se conceptualizan como dinámicas e incompletas, no son estructuras más o menos completas y estáticas que más o menos reflejan aquello que quieren representar (Cfr. Ibarra & Zubia: 2009, 175). (vii) Nos valemos de representaciones producidas de manera práctica para escrutar posibles respuestas en el entorno en el que se aplican (Cfr. *Idem*); esas respuestas son con base en el razonamiento subrogatorio. Y (viii) el motor de la representación científica de la representación científica es el razonamiento subrogatorio (de naturaleza abductiva), el cual nos permite extraer mayor información,

²³ Por el <<quienes>> pueden entenderse ya sea un agente individual o a una comunidad científica, o redes epistémicas (Cf. Ibarra: 2005).

²⁴ Tienen que cumplir con la ley de asociatividad $f \circ (g \circ h) = (f \circ g) \circ h$ (Cf. Ibarra: 2003, 33).

²⁵ Esto puede verse con el problema In vivo/In vitro (Cfr. Ibarra & Mormann: 2006, 2007).

²⁶ Ibarra y y Zubia nos dicen que esa práctica se interpreta como “una construcción funcional de carácter homológico entre las estructuras de ambos ámbitos, según la cual se preserva el orden entre los elementos de los hechos teóricos y de sus correlatos representados en el ámbito de los hechos brutos. Esa condición general de la correspondencia representacional permite la intervención tanto en el ámbito de los hechos teóricos –representaciones en sentido corriente- como en el de los hechos brutos –constituyendo el mundo a representar de la manera más adecuada, para recabar la información y datos necesarios” (Ibarra & Zubia: 2009, 177-178).

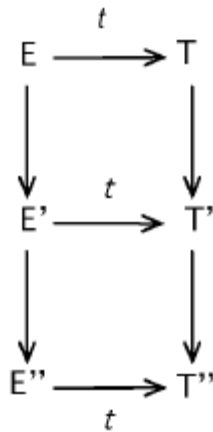
²⁷ La práctica científica, puede decirse, es un empresa que constituye epistémicamente –qué objetos son reales y cuáles puedo conocer-, políticamente –qué objetos aprueba la ciencia como reales- y semánticamente –creación y refinamiento de conceptos- el mundo que va alcanzando (Cf. Txapartegi: 2005).

mediante conclusiones relevantes, del objeto representado. Dicho lo cual, veamos un ejemplo en el que se instancia esta concepción performativa.

El ejemplo es la construcción de imágenes astrofísicas presentado por Andoni Ibarra y Eduardo Zubia (Ibarra & Zubia: 2009). Estas imágenes son el resultado de un camino largo de mediación entre la sonda espacial y la teoría, es decir tratan de mostrar la cadena y combinatoria representacional en su construcción. Asimismo, las imágenes puede decirse que son mediadores entre los modelos de datos observacionales y los diversos dispositivos teóricos. En otras palabras, el objetivo es mostrar el proceso complejo de construcción representacional que se encripta en la cualificación de imágenes como modelos numéricos.

Las etapas del procesado numérico de imágenes son las siguientes: (1) las imágenes son tomadas en forma digital por dispositivos de acoplamiento de carga (CCD), en función una longitud de onda (la resolución fotográfica depende de la densidad de la cuadrícula del CCD). (2) La formación de fotografías a color implica la superposición de imágenes de un mismo objeto, capturadas en ondas de longitud distintas. En función del filtro que se elija se obtendrá una restitución de los colores naturales –como los percibe el ojo humano- o se obtendrá una imagen compuesta por longitudes de onda distintas a las visibles: “Nada impide, por ejemplo, presentar una imagen con la radiación capturada con longitudes de onda del ámbito de los rayos X o de las ondas de radio” (2009, 184). (3) Se compensan los niveles de intensidad de las múltiples imágenes. Luego se le atribuye a cada una de las capas de la imagen un color, correspondiente en un principio a la longitud de onda del filtro utilizado para su obtención: “sin embargo, se puede optar por una combinación que produzca una imagen en falso color; que resalte visualmente aspectos de interés para un estudio concreto. La atribución de colores arbitrarios es necesaria, por ejemplo, para presentar imágenes obtenidas fuera del espectro visible” (*Idem*). Por último, (4) la imagen final se obtiene eliminando píxeles defectuosos y otros artefactos instrumentales. Con base en (1)-(4) vemos que la imagen final es el resultado de las constricciones de los datos observacionales y del conjunto de habilidades operatorias con la combinatoria de representaciones que se abren en el espacio de posibilidades de la representación. Como nos dicen nuestros autores, los datos observacionales y los modelos numéricos teóricos construyen el espacio de posibilidades para la representación figurativa de los fenómenos

naturales astrofísicos. Diagramáticamente este espacio puede representarse como el campo de interacciones entre dos ámbitos procesuales, E y T:



Donde cada E, E', E'' son momentos observacionales a los que se les hace corresponder sus respectivas simulaciones teóricas –modelos numéricos- astrofísicas T, T', T''. Su correspondencia preserva el orden de *relaciones lógicas*. Asimismo, la objetividad de la representación se verifica si el diagrama conmuta: “Es decir, intuitivamente, por el hecho de que sea cual fuere el camino que tomamos a partir de E se alcanza T''”:

$$E \rightarrow E' \rightarrow E'' \rightarrow T'' = E \rightarrow E' \rightarrow T' \rightarrow T'' = E \rightarrow T \rightarrow T' \rightarrow T''$$

Estas combinatorias entre los datos y las simulaciones numéricas permiten ir construyendo representaciones figurativas que confirme los modelos teóricos avanzados o que identifique una heurística positiva” (2009, 186).

Como hemos visto, el proceso es muy complejo y la relación $t: E \rightarrow T$ es una síntesis de la cadena de construcciones de representaciones figurativas que siguen una dinámica de resistencia/acomodación entre datos y modelos teóricos. Así, Ibarra y Zubia concluyen que las imágenes astrofísicas se construyen preservando ciertas combinaciones posibles en la interacción entre los modelos teóricos y los datos observacionales. Con lo cual muestran que la representación científica es una actividad constitutiva de mundo, en la cual se construyen espacios de posibilidades para la acción; por ejemplo, en el caso del caso de las imágenes en astrofísica la acción es figurativa.

Dicho lo cual, podemos delinear lo que significa el razonamiento subrogatorio en la propuesta de Ibarra y Mormann. Así, pues, podemos entender por razonamiento subrogatorio un tipo de razonamiento abductivo que posibilita la aplicación de las ideas del sistema representante en un sistema A –representado-, generando una representación, cuya finalidad es obtener un mayor conocimiento de este último sistema; mostrando que la representación es adecuada si preserva relaciones de orden o lógicas, en las que se exhiben las simetrías entre ambos correlatos. Veamos otras propuestas de caracterizar tal razonamiento que encontramos en la literatura correspondiente a este tema.

2. Dos concepciones alternativas de razonamiento subrogatorio.

Esta sección tiene como objetivo profundizar en nuestro entendimiento de la noción de inferencia subrogatoria, mostrando de qué manera ha sido abordada en otras perspectivas. Estas perspectivas están concretizadas en la propuesta de representación estructural de Chris Swoyer y, dentro del ámbito de las ciencias cognitivas y la informática, del modelo de razonamiento subrogatorio de Atsushi Shimojima. Ellos nos servirá para delinear semejanzas y diferencias con la propuesta de Ibarra y Mormann.

2.1. Chris Swoyer: razonamiento subrogatorio como preservación de estructuras.

En “Structural Representation and Surrogate Reasoning” Chris Swoyer nos dice que un número importante de tipos de representación son especies de una relación estructural simple. Esta relación la concibe como un isomorfismo o como un homomorfismo. Así, nos cuenta Swoyer, por ejemplo en la medición de longitud o voltaje transformamos información acerca de las magnitudes físicas en información numérica, lo cual facilita el razonamiento debido al rico conjunto de conceptos matemáticos, técnicos y teóricos. De manera análoga, nos dice el autor, nos movemos en la dirección opuesta, pues representamos números por magnitudes físicas como voltaje y longitud. Pero el punto en cada caso es el mismo: representar algo por un medio que facilite la inferencia acerca de él (Cf. Swoyer: 1991, 450-451). Así pues la característica esencial del razonamiento subrogatorio es facilitar la inferencia para extraer conclusiones relevantes del dominio representado. En este contexto, para que el razonamiento subrogatorio funcione hay que sostener que el objeto o fenómeno de la naturaleza y el sistema representante comparten

características estructurales. Dicho en palabras de Swoyer: “Creo que la mejor explicación de por qué una teoría matemática se aplica a fenómenos concretos es porque tiene muchas de las mismas características estructurales de los fenómenos” (1991, 451). Por lo que la similaridad estructural en la que se basa la inferencia subrogatoria versa sobre propiedades entre los objetos que pertenecen a los correlatos de la representación. Esto, nos comenta Swoyer, se hace patente en la teoría de la medida. Pero no solamente la inferencia subrogada se da entre un sistema empírico y uno formal, también se da entre dos sistemas formales. Veamos un caso para ejemplificar a lo que se refiere Swoyer. Este es caso es la reducción de los números naturales a conjuntos²⁸.

Con el fin de mostrar la reducción de los números naturales a conjuntos como una preservación estructural basada en el razonamiento subrogatorio, se tienen que tratar a los números como “el sistema relacional de los números naturales” $\mathcal{N} = (\mathbb{N}, s, <, \wedge)$, donde \mathbb{N} es el conjunto de los números naturales, s y $<$ son la función ‘sucesor’ y la relación ‘menor que’, respectivamente, \wedge es el encaje de identidad, y el sistema, aclara Swoyer, se debe comportar conforme a los postulados de Peano. Asimismo, Swoyer comenta que representa el sistema \mathcal{N} en conjuntos a la manera de von Neumann, aunque, apunta, las siguientes consideraciones pueden mantenerse si utilizamos alguna alternativa como la de Zermelo²⁹. Por lo que consideramos al “sistema relacional von Neumann” como una cuadrúpla ordenada $V = (V, \sigma, \in, \wedge)$, donde V es un conjunto no-vacío (la clase von Neumann), σ es una función de V a V tal que para toda x en V , $\sigma(x) = x \cup \{\emptyset\}$, \in es la relación de pertenencia al conjunto, y \wedge es el encaje de identidad. Podemos axiomatizar V en teoría de conjuntos, usando el axioma de infinitud para garantizar que existe al menos un conjunto inductivo (uno que contiene \emptyset y cerrado bajo σ), entonces singularizar V como el conjunto más pequeño de este tipo (esto es un subconjunto de cada conjunto inductivo). Así, V contiene todas y cada una de las clases von Neumann, \emptyset , $\{\emptyset\}$, $\{\emptyset, \{\emptyset\}\}$, $\{\emptyset, \{\emptyset, \{\emptyset, \{\emptyset\}\}\}$, etc., y están ordenadas por \in .

²⁸ Este ejemplo se encuentra en (Swoyer: 1991, 478-479). Seguimos plenamente la explicación dada por dicho autor.

²⁹ La diferencia entre ambas alternativas radica en que Zermelo identificaba al 2 con el conjunto $\{\{\emptyset\}\}$, mientras que von Neumann lo denota como $\{\emptyset, \{\emptyset\}\}$.

Ahora podemos probar una representación estructural de N en V vía una función c que identifica la relación $<$ con \in , la relación funcional s con σ , y los individuos 0 con \emptyset , 1 con $\{\emptyset\}$, etc., (más adelante específico, $c(0) = \emptyset$ y $c(s(m)) = \sigma(c(m))$). Es posible entonces probar el teorema de representación mostrando que c es un homomorfismo en que todas las relaciones en N son preservadas y contra-preservadas; esto es, para cada número natural m y n en \mathbb{N} : (A) $m < n$ sólo es el caso si $c(m) \in c(n)$ y (B) $c(s(m)) = \sigma(c(m))$. Esta similaridad de estructura justifica nuestro actuar como si los números naturales fueran conjuntos cuando razonamos sobre ellos. Con ello hemos visto, por ejemplo, cómo la estructura de la teoría de conjuntos nos permite saber un poco más acerca de la naturaleza de los números naturales. Por ejemplo, trasladándolo a la notación usada por Ibarra y Mormann, podemos ver el porqué de su seriación: $[f(\emptyset), f(\{\emptyset\}), f(\{\emptyset, \{\emptyset\}\}), \dots, f(a_{k_i})] \in V \Rightarrow 0, 1, 2, \dots, a_k \in \mathbb{N}$. La representación es posible por la preservación estructural exhibida por el carácter asociativo y conmutativo de ambos sistemas, lo que a su vez permite mostrar y justificar el orden de la seriación de los números naturales.

Con lo expuesto hasta ahora esperamos haber mostrado por qué gracias a la preservación estructural se obtienen inferencias relevantes entre dos sistemas relacionales, en el que uno busca determinar al otro.

2.2. Atsushi Shimojima: modelo de razonamiento subrogatorio.

El objetivo por el que fue desarrollado el modelo de razonamiento subrogatorio o sistema de representación por Atsushi Shimojima es para dar cuenta de cuándo una representación es eficaz (Cf. Shimojima: 1996b); por ejemplo, en la resolución de problemas. Esta tarea va a ser abordada en (Cf. Barwise & Shimojima: 1995) donde, para los autores, un problema tiene como origen la incertidumbre; luego, la resolución de un problema involucra eliminar o reducir la incertidumbre al encontrar una respuesta al problema. Con base en esto, para los autores, el razonamiento es, intuitivamente, el proceso por el que uno comienza con un problema e intenta llegar a una solución. Así, por ejemplo, una representación puede decirse eficaz si con ella podemos dar con una solución a un problema (nos ocuparemos más adelante en dilucidar esta noción de eficacia). Barwise y Shimojima sugieren conceptualizar un problema en términos de un espacio inexplorado de posibilidades, donde el misterio es qué estructura tiene y qué reside en ese espacio. Podemos pensar la

resolución de problemas como el descubrimiento suficiente sobre el espacio de posibilidades para eliminar el misterio. En estos términos “razonamiento” es el proceso de exploración de los espacios de posibilidades que se nos presentan por el problema (Cf. 1995, 2). En la exploración de ese espacio de posibilidades nos valemos de herramientas para escudriñar ese espacio tratando de encontrar una solución. Así, nuestro autores nos dicen: “Esta es la clase de la actividad a la que nos referimos como razonamiento subrogatorio; la exploración de un espacio de posibilidades utilizando ciertas herramientas” (1995, 2). Nos valemos de herramientas que utilizamos como subrogadores, para la resolución de problemas, tales como: enunciados, diagramas, modelos físicos, modelos matemáticos y simulaciones computacionales. Al resolver un problema muchas veces utilizamos una batería de subrogadores que juzgamos apropiados.

En el razonamiento subrogatorio elegimos una cierta colección de objetos como representantes para sacar conclusiones sobre otros objetos (los objetos representados). Operamos, pues, sobre los objetos representantes y entonces interpretamos esa información para obtener información sobre los objetos representados. Pues bien, Shimojima pretende modelar esta situación postulando el siguiente sistema de razonamiento o representación³⁰, sea $\mathcal{R} = \langle \mathcal{J}, \mathcal{S}, \Rightarrow, \rightsquigarrow, S_\ell, T_\ell \rangle$, donde $\mathcal{S} = \{S, S_\ell, \Sigma \models_S\}$, $\mathcal{T} = \{T, T_\ell, \Theta, \models_T\}$ y se mantiene $s \rightsquigarrow t$, $\sigma \Rightarrow \theta$ y $s \models_S \sigma$ ³¹. Donde: \mathcal{S} es el dominio representante $\{S, S_\ell, \Sigma \models_S\}$; \mathcal{T} es el

³⁰ Esto dependerá del artículo que uno revise. Por mi parte, sólo puedo decir que Shimojima usa indistintamente ‘sistema de representación’ y sistema de razonamiento subrogatorio’ porque son lo mismo.

³¹ Nos quedamos con el sistema presentado en (Shimojima: 1996a) porque es el más simple e intuitivo para los propósitos que aquí nos interesan. Otras versiones mucho más desarrolladas se encuentran en (Cf. Barwise & Shimojima: 1995; Shimojima: 1996b, 1996c, 1999a, 2001; Shimojima & Barker-Plummer: 2014). Los bloques básicos sobre los que se basa la ontología del sistema son *situaciones* y *estados de cosas*. Algunas de estas situaciones actuales o no actuales (que es el caso o que no es el caso). Intuitivamente, la situación de que hoy el periódico *El Universal* describe la escena musical en la Ciudad de México es una situación que es actual, mientras que la película de *Superman* describe la escena del crimen en ciudad Metrópolis no es una situación que sea actual.

Como dice Shimojima, intuitivamente las situaciones son “sitios” en los que carios estados de cosas se mantienen o no se mantienen (Cf. 1996b, 74). Por ejemplo que Santiago Mora sea un guitarrista famoso es un estado de cosas que se mantiene en la situación <<la escena musical actual en la Ciudad de México>>, mientras que Miguel Amador es un guitarrista famoso es un estado de cosas que no se mantiene en la situación mencionada. Podemos considerar a los estados de cosas como las propiedades de situaciones que las clasifican en actuales o no actuales (Cf. 1996b, 74-75). Utilizaremos las letras latinas minúsculas s, s', t, t', \dots para situaciones, que son actuales o sólo posibles, y letras griegas $\sigma, \sigma', \theta, \theta', \dots$ para estados de cosas. Letras latinas mayúsculas S, S', T, T', \dots para referirnos a conjuntos de situaciones, y letras griegas mayúsculas $\Sigma, \Sigma', \Theta, \Theta', \dots$ para referirnos a conjuntos de estados de cosas.

dominio representado $\{T, T_\ell, \Theta, \models_T\}$; \Rightarrow es una función (posiblemente parcial) de Σ en Θ ;
 \rightsquigarrow es una función (posiblemente parcial) de S en T ; $S_\ell \subseteq S$; $T_\ell \subseteq T$.

Shimojima afirma que las variedades y grados de eficacia de una representación son explicados con referencia a los modos particulares en que las ligaduras sobre el dominio representante hagan *match o mismatch*³² con las ligaduras del dominio representado. En este contexto, una ligadura quiere decir un proceso o secuencia que nos lleva de un estado de cosas o situaciones a otro (formalmente: $\Sigma_1 \vdash \Sigma_2$ y $\Theta_1 \vdash \Theta_2$).

Hasta el momento sólo hemos hablado del sistema \mathcal{R} como una herramienta, pero ¿cómo tenemos que, como usuarios, aprovechar esta herramienta? Decimos que aprovechamos esta herramienta si conseguimos llevar a cabo inferencias subrogatorias, las cuales nos permiten derivar ligaduras del dominio representado $\Theta_1 \vdash \theta$ a partir de las ligaduras del dominio representado vía la relación de indicación \Rightarrow . Dicho con otras palabras, una inferencia subrogatoria es una inferencia que se emplea para un dominio representado pero se basa en las ligaduras de un dominio representante. Caractericemos el proceso de inferencia subrogatoria mediante el marco conceptual que hemos utilizado en este capítulo.

Sea $\mathcal{R} = \langle \mathcal{T}, \mathcal{S}, \Rightarrow, \rightsquigarrow, S_\ell, T_\ell \rangle$ un sistema de representación, y supongamos que \mathcal{R} preserva una ligadura del dominio representado $\Theta_1 \vdash \theta$ con base en una ligadura del dominio representante $\Sigma_1 \vdash \Sigma_2$. Así, todas las \Rightarrow y \vdash se mantienen como se ve en el diagrama siguiente:

$$\begin{array}{ccc}
 \Sigma_1 & \Rightarrow & \Theta_1 \\
 \vdash & & \vdash \\
 \sigma & \Rightarrow & \theta
 \end{array}$$

Con base en estas condiciones, podemos llevar a cabo una inferencia de la información Θ_1 a la información θ sobre la base de la ligadura del dominio representante $\Sigma_1 \vdash \sigma$.

³² Si hay un match, entonces se da el fenómeno de las “free ride” y si no es el caso acontecerá el fenómeno de la “sobre-especificidad”; para ahondar más sobre estos fenómenos remito al lector a (Shimojima: 1996a).

Llamamos a esta inferencia subrogatoria ya que normalmente una inferencia de Θ_1 a θ estaría basada en la ligadura $\Theta_1 \vdash \theta$ del dominio representado, mientras que esta inferencia está basada en la ligadura $\Sigma_1 \vdash \sigma$ del dominio representante. Por lo que una inferencia subrogada sobre el dominio representado respaldada por $\Sigma_1 \vdash \sigma$ está determinada por la relación de indicación \Rightarrow . Esta inferencia es válida si la ligadura $\Theta_1 \vdash \theta$ se mantiene sobre el dominio representado. Así, es más fácil razonar sobre el dominio representante transfiriendo inferencias obtenidas en él para dar cuenta de lo que acontece o acontecería en el dominio representado (Cfr. 1999a, 16). Por ejemplo, es más fácil razonar y transferir inferencias si simulamos computacionalmente una situación (los estragos que causaría la explosión de una bomba) que llevar a cabo esa situación (hacer estallar la bomba en el mundo).

Ilustremos lo anterior con un caso que involucra el fenómeno de las “free rides”, en el que al expresar un cierto conjunto de información en el sistema siempre resulta la expresión de otro (Cf. Shimojima: 2004, 18)³³; con este ejemplo vemos la eficacia de razonar subrogatoriamente.

Diagrama de Venn³⁴. Dado un silogismo:

(θ_1) Todos los C’s son B’s.

(θ_2) Ninguno de los B’s son A’s.

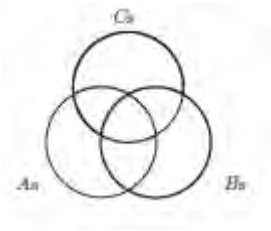
(θ_3) (Por tanto) Ninguno de los C’s son A’s.

Utilizamos diagramas de Venn para revisar la validez del silogismo:

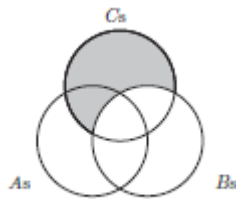
(1) Comenzamos dibujando tres círculos, etiquetados “A’s”, “B’s” y “C’s” respectivamente:

³³ Otra manera de expresar esto es decir que una “free ride” se da cuando al razonar se alcanza un hecho semánticamente significativo σ en un sistema representante, mientras que las instrucciones de las operaciones que el razonador ha seguido no implican la realización de σ (Cf. Shimojima: 1996a).

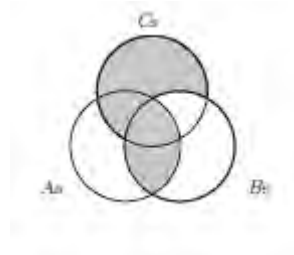
³⁴ Este ejemplo es paradigmático y puede ser encontrado en (Barwise & Shimojima: 1995; Shimojima: 1996a, 1996b). Aquí seguiremos una versión un poco modificada pero respetando el corazón del ejemplo.



(2) Con base en las asunción θ_1 del silogismo, sombreamos el complemento del círculo-B con respecto al círculo- C ³⁵,



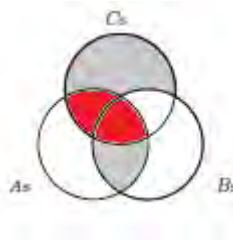
(3) Luego, con base en la asunción θ_2 del silogismo, sombreamos la intersección del círculo-B y el círculo- A ³⁶,



(4) Observamos que la intersección del círculo-C y el círculo-A está sombreada como resultado, revisamos que la conclusión del silogismo θ_3 y decidimos que el silogismo es válido:

³⁵ La parte central donde C y B se intersectan y que no se ha sombreado, representa al juicio *todos los C's son B's*, por lo que se sombrea como no existente a todo lo demás del círculo de las C's. La parte de las B's que queda fuera de la intersección representa a otros B's que no son C's.

³⁶ La parte central donde A y B se intersectan, al estar sombreada indica que no existe la clase y representa al juicio *ninguno de los B's son A's*, ya que las clases A y B nunca llegan a corresponderse.



Conforme a las reglas semánticas asociadas con el diagrama de Venn; un diagrama presenta la información θ_1 y θ_2 si confirma los siguientes estados de cosas:

(σ_1) El complemento de un círculo etiquetado “B’s” con respecto a un círculo etiquetado “C’s” está sombreado (paso (2)).

(σ_2) La intersección del círculo etiquetado “B’s” y un círculo etiquetado “A’s” está sombreada (paso (3)).

Podemos ver que como una cuestión de índole geométrica, siempre que los estados de cosas σ_1 y σ_2 se mantienen en el diagrama de Venn, el siguiente estado de cosas se mantiene en él:

(σ_3) La intersección de un círculo etiquetado “C’s” y un círculo etiquetado “A’s” está sombreada.

El *quid* del asunto radica en notar que el hecho σ_3 es un efecto secundario [side-effect] de las operaciones que hemos llevado a cabo (pasos (1)-(4)); las operaciones son realizadas con el fin de llevar a cabo los estados de cosas σ_1 y σ_2 , no σ_3 (Cf. Shimojima: 1996a, 31). Sin embargo, bajo la convención semántica asociada con los diagramas de Venn, este hecho tiene un valor semántico independiente, esto es, la información θ_3 . Obtenemos la información θ_3 “for free” (*Idem*) y decimos que el silogismo es válido.

Valgámonos de otro ejemplo. En una simulación, los agentes crean una situación ($\mathcal{S} = \{S, \Sigma \models_{\mathcal{S}}\}$) que representa ($s \rightsquigarrow t$) a una situación en el “mundo” ($\mathcal{T} = \{T, T_{\ell}, \Theta, \models_{\mathcal{T}}\}$) cuyo comportamiento bajo ciertas circunstancias deseamos saber (de $\{\theta_1, \dots, \theta_n\}$ a θ^*). El agente (1) ajusta la situación que simula ($\{\sigma_1, \dots, \sigma_n\}$) para que pueda representar las circunstancias de la situación a simular ($\{\theta_1, \dots, \theta_n\}$) y (2) observa qué es lo que pasa en la situación que simula (para ver si de $\{\sigma_1, \dots, \sigma_n\}$ se sigue σ^* que indica θ^* , es

decir, $\sigma \Rightarrow \theta$). Los pasos (1) y (2) corresponden a los pasos de *free ride* en que nosotros operamos sobre una representación mostrando nuestras asunciones y observando los resultados obtenidos producidos por las ligaduras estructurales que gobiernan la representación. Así, casos de simulaciones exactas corresponden a casos de correctas *free rides*, y casos de simulaciones inexactas corresponden a *free rides* incorrectas (Cfr. Shimojima: 1996b, 43). Naturalmente no todas las representaciones proveen *free rides* y, por consiguiente, no todas son igual de eficientes.

3. Consideraciones finales: comparación entre propuestas.

En esta sección nos ocupamos en discutir brevemente las semejanzas y diferencias entre la noción de razonamiento subrogatorio defendida por Ibarra y Mormann respecto a las formuladas por Swoyer y Shimojima.

Como ya hemos expuesto, el enfoque performativo de la representación científica sostiene que la inferencia subrogatoria se basa en la preservación de relaciones lógicas que son exhibidas cuando hay simetrías entre las ‘consecuencias naturalmente necesarias’ y las ‘consecuencias intelectualmente necesarias’. De tal manera que lo que importa es la preservación de relaciones entre los procesos causales y los procesos lógicos. En este aspecto tenemos una primera diferencia respecto a la subrogación defendida por Chris Swoyer, ya que para él lo que importa es que se preserven relaciones de tipo estructural como isomorfismos y homomorfismos. Esto implica que la concepción de Swoyer reside en la similaridad estructural mediante propiedades de los elementos que pertenecen a los dominios de los correlatos de la representación; aquí encontramos otra diferencia con la propuesta de Ibarra y Mormann, ya que las simetrías de las que hablan sugiere que la representación se da a distancia en la cual lo que importa no es la similaridad estructural de propiedades sino la correlación entre procesos. La idea de preservar la lógica, con base en la simetría de procesos, entre los correlatos de la representación va a ser compartida con la propuesta de Atsushi Shimojima. Recordemos que para este autor razonamos subrogatoriamente cuando proyectamos las ligaduras de un dominio representante en un dominio representado. La idea de ligadura no es más que la de secuencia o proceso que nos lleva de un estado de cosas a otro.

No obstante, a diferencia de la estrategia utilizada por Swoyer y Shimojima, Ibarra y Mormann no conciben a los correlatos de la representación como conjuntos, más bien como dominios ordenados, lo cual les permite eludir las relaciones isomórficas y homomórficas. Sin embargo, las tres propuestas convergen al destacar la importancia de la reducción que faculta el razonamiento subrogatorio, esto es, que es más fácil trabajar (inferir) en el dominio representante que en el representado, como puede verse si pensamos que es más fácil y más adecuado simular computacionalmente los efectos que causa una bomba que hacerla estallar.

Así, el objetivo de la representación es la aplicación de las ideas de un sistema B para extraer inferencias relevantes que nos ayuden a explicar a un sistema A, a esto, *grosso modo*, se le llama razonamiento subrogatorio. Con base en las tres propuestas expuestas, podemos adelantar una tipología de las estrategias para inferir subrogatoriamente. La primera gira en torno a la semejanza estructural que concibe a los correlatos de la representación como conjuntos (estrategia de Swoyer). En la segunda se conciben, como en la anterior, los correlatos como conjuntos pero esta estrategia gira en torno a la semejanza de procesos (estrategia de Shimojima). Por último, la tercera estrategia gira en torno a procesos en los que se preservan relaciones lógicas y donde los correlatos de la representación se conciben como dominios ordenados (estrategia de Ibarra y Mormann). Pues bien, dicho lo anterior, en lo que sigue buscamos mostrar que no solamente podemos entender de esas maneras al razonamiento subrogatorio, en especial enfocándonos en la tercera estrategia, sino que con casos que involucren variables subrogadas podemos avanzar en nuestro entendimiento de este razonamiento.

CAPÍTULO II

Variables subrogadas: el caso del axolote mexicano

En el capítulo anterior nos enfocamos en desmenuzar el enfoque homológico-performativo con el fin de mostrar que el estudio de la representación científica desemboca en el escrutinio del razonamiento subrogatorio. Con base en ello nos dimos a la tarea de comparar y extraer algunas notas distintivas que connota la subrogación. En particular destacamos la propuesta de Ibarra y Mormann respecto a las de Shimojima y Swoyer. Generamos así un panorama que nos permite caracterizar las estrategias que posibilitan llevar a cabo inferencias subrogatorias. Ahora bien ¿es posible hacer un viraje que nos ayude a ampliar nuestro entendimiento de las estrategias de subrogación y que nos permita sentar las bases para unos comentarios críticos de la propuesta de Ibarra y Mormann? Pensamos que esto es asequible sobre la base de la idea de variable subrogada.

En lo que sigue, nuestro objetivo es entender cómo el axolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*) como variable subrogada es un bioindicador de la salud del ecosistema en el que habita. Así, si entendemos que el *Ambystoma mexicanum* es concebido metodológicamente como variable subrogada nos ponemos en camino para llevar a cabo la crítica a la noción de inferencia subrogatoria propuesta por Ibarra y Mormann. De ahí que sean principalmente dos las tareas que tendremos que cumplir: (1) describir lo que se entiende por variable subrogada y (2) exponer el caso del axolote como bioindicador.

¿Qué se entiende por variable subrogada y cómo puede concebirse al axolote como este tipo de variable?

Lo anterior determina la estructura del capítulo, éste se divide tres partes. En la primera parte nos enfocamos en caracterizar lo que se entiende por variable subrogada en el campo de las ciencias biológicas con el fin de acometer posteriormente el caso del axolote mexicano. Toda vez que llevamos a cabo lo anterior, en la segunda parte, exponemos el caso del *Ambystoma mexicanum* como variable subrogada, para ello tenemos que describir las características físicas de este individuo así como de su hábitat para dar una idea de la complejidad de llevar a cabo estudios de un ecosistema y cómo es útil el uso de variables de tal tipo. Con lo cual veremos que el fenómeno del decrecimiento poblacional y la posible

extinción en condiciones silvestres del axolote es un reflejo, nos habla, de la contaminación del ecosistema en el que vive (en este caso la zona lacustre de Xochimilco), y no tanto otros factores como la introducción de otros predadores en su hábitat. Por último, en la tercera parte, extraemos los puntos que caracterizan el uso de variables subrogadas y que nos permiten usarlos de base para, en el tercer capítulo, hacer unas observaciones críticas a la propuesta de Ibarra y Mormann.

1. Variables subrogadas.

En esta sección nos abocaremos en delimitar lo que entendemos por ‘variable subrogada’. Para ello nos enfocaremos únicamente en lo dicho, acerca de este tema, por Alfonso Arroyo Santos. Hemos elegido a este autor porque nos presenta de una manera clara y distinta la noción de variable subrogada en casos pertenecientes a la investigación biológica, por ejemplo, la radiación adaptativa (Cf. Arroyo & Olson: 2011; Arroyo: 2011b) o la fallida determinación genética del mestizo mexicano (Cf. Arroyo: 2011a), entre otros muchos casos.

Es importante mencionar que para Alfonso Arroyo el uso de variables subrogadas está ligado, pero no se agota en ello, con el uso de las metáforas (científicas). Aquí queremos acotar que, aunque es muy interesante en muchos aspectos estudiar tal relación, no nos ocuparemos en escudriñar la noción de metáfora y cómo se utiliza en ciencia, pues de hacerlo nos desviaríamos de nuestro objetivo que es entender ‘variable subrogada’.

Una de las preocupaciones que puede vislumbrarse en los textos de Arroyo Santos es mostrar que gracias a todo lo que subrogan las metáforas, éstas permiten una economía de pensamiento. Asimismo, sostiene que muchas propiedades que atribuimos a las metáforas científicas pueden ser aplicadas a las analogías científicas; con lo que, en el contexto de la ciencia, analogía y metáfora aunque parecidas no son lo mismo. Así, Arroyo y Xavier de Donato nos dicen que: “More specifically, structural alignment, inference projection, progressive abstraction and re-representation are all employed in the processing of metaphors” (Arroyo & Donato: 2011: 2011, 82). Las metáforas científicas contribuyen tanto a la constitución de una teoría como a la conformación de modelos y conceptos científicos, caracterizados como variables subrogadas.

La noción de subrogación ayuda a entender el éxito empírico y la dimensión material de ciertas metáforas utilizadas en la práctica científica, lo cual contribuye a crear una narrativa potencial que servirá de base para el desarrollo de procesos y entidades científicos (Cf. Arroyo: 2011b, 655). El término ‘variable subrogada’, nos cuentan Arroyo y Olson, surge de “scientific data collection, where easy-to-measure variables are often used to diagnose difficult or imposible to measure” (Arroyo & Olson: 2011, 2)³⁷. Así, nos dicen nuestros autores: “For example, “ecosystem health” is a complex state and for all practical purposes impossible to measure. However, water quality or the presence or absence of some “indicator” species or taxon are often taken as makers of the vast array of variables that make up variables for the whole system” (*Idem*)³⁸. Como se ve, con el uso de variables subrogadas se puede reducir la complejidad de todo un sistema enfocándonos en uno o en unos cuantos elementos ínsitos a él para poder constituir una narrativa explicativa que nos ayude en la resolución de un problema de investigación. Tenemos que ahondar más respecto a este asunto.

1.1. Algunas consideraciones respecto a las ‘variables subrogadas’.

Se entiende por ‘variable subrogada’ a una estrategia metodológica donde un conjunto mínimo de variables representa a un conjunto mayor que por alguna razón, sea de orden temporal, computacional, etc., no puede ser estudiado; en este sentido el conjunto mínimo subroga al conjunto mayor (Cf. Arroyo: 2011b, 654). Con el término ‘representa’ vislumbramos la importancia metodológica del carácter reductor de estas variables, pues, nos permite agrupar diferentes procesos y entidades. Bajo este tenor, Arroyo Santos nos dice que: “La idea básica es que una variable subrogada agrupa bajo la misma etiqueta diferentes procesos y entidades. Gracias a esta capacidad de agrupación, la variable gana numerosas virtudes epistémicas como por ejemplo, poder explicativo, empírico o unificadorio. De la misma manera, y dado que los procesos biológicos son multifactoriales y no dependen de una sino de muchas causas a diferentes niveles, una buena metáfora puede agrupar varias causas en una sola convirtiéndose así en un concepto científico

³⁷ Podemos entender por “Datos” al conjunto de información total que arroja un experimento y por “Resultados” al subconjunto perteneciente a los “Datos” utilizados con el fin de defender una hipótesis, una teoría o para construir un programa de investigación (Cf. Arroyo: 2011a).

³⁸ Nótese la idea de ‘reducción de complejidad’ destacada en los propósitos complementarios de la representación en la propuesta de Ibarra y Mormann.

potentísimo” (Arroyo: 2011b, 657). Por ejemplo, en el caso de la radiación adaptativa, Arroyo sostiene que tal noción es una metáfora que subroga distintos procesos evolutivos, por ejemplo: tasa de especiación, cambio morfológico o adecuación ecológica; y que en todo caso es difícil llegar a una definición unívoca de ‘radiación adaptativa’³⁹. Como se ve esta estrategia nos permite tratar con lo complejo que acarrea lo multifactorial de los casos biológicos ya que hay muchos factores desconocidos. Lo cual nos lleva a otra caracterización de las variables subrogadas:

Se llamará variable subrogada a aquella que representa a otro conjunto de variables de cardinalidad desconocida que se llamará el conjunto de variables representadas. A pesar de no conocerse el número de las variables representadas, lo que sí se sabe es que todas ellas cumplen una función dentro de un proceso. Dado que no conocemos ni el número, y muchas veces tampoco la identidad de las variables representadas, el proceso de interés es evaluado, medido, explorado, a través de la variable que sí conocemos que en este sentido subroga a todas las demás (Arroyo: 2011a, 15).

Esto tiene implicaciones en la manera que llevamos a cabo inferencias en el campo de la biología. Pues, el análisis estadístico es uno de los métodos favoritos para llevar a cabo inferencias en dicha disciplina, ya que descansa sobre la premisa de que la estadística nos permite discriminar dentro de los muchos datos aquellos que son verdaderamente relevantes. Los métodos estadísticos crean variables subrogadas. En el campo de la biología, muchas veces, un indicador subroga a un sistema entero. Por ejemplo, en el caso de la genética, con base en el análisis estadístico se eligen ciertos genes como indicadores de pertenencia a un grupo étnico o de que un individuo sea susceptible de padecer una enfermedad. Así: “La razón es que un mismo gen puede tener diferentes variantes, o haplotipos, por lo que en un principio, cierto conjunto de variantes explicaría una mayor susceptibilidad a alguna enfermedad. Por eso, cuando se habla de que x individuo presenta un gen de riesgo para tal o cual enfermedad, lo que se quiere decir es que tal individuo presenta un haplotipo que es estadísticamente más común entre individuos con tal enfermedad que entre personas que no la padecen” (Arroyo & Olson: 2011, 12).

³⁹ Para un estudio más detallado de este caso remito al lector a (Arroyo: 2011b; Arroyo & Olson: 2011).

Es importante destacar, con base en lo anterior, la naturaleza no-monotónica⁴⁰ de las inferencias que podemos extraer basándonos en variables subrogadas, debido a nuestro desconocimiento de cada elemento o proceso involucrado en el conjunto total subrogado; ya que, a diferencia de una inferencia deductiva, no contamos con la información completa del conjunto bajo investigación.

En suma, la estrategia metodológica de utilizar variables subrogadas para abordar un problema de investigación en el ámbito de la biología es muy útil, debido a su carácter reductor en el que se agrupan procesos y entidades con el fin de facilitar la inferencia (sacar conclusiones relevantes) a pesar de que no se conoce la cardinalidad del conjunto mayor; esta inferencia es no-monotónica en el caso de las ciencias biológicas ya que basan sus justificaciones en el cálculo probabilístico. Con lo cual se desarrolla una narrativa que nos ayuda a resolver problemas de investigación. Así, entendemos, dadas las caracterizaciones presentadas, por ‘variable subrogada’ a la estrategia metodológica en la que un conjunto mínimo A (compuesto por una o algunas entidades o procesos) representan a un conjunto mayor B (del cual A es un subconjunto de B), cuya cardinalidad podemos no conocer, con la finalidad de llevar a cabo inferencias en A que nos permitan explicar, interpretar o predecir el comportamiento de B.

El caso del axolote mexicano nos muestra cómo el conjunto mínimo subroga a todo el conjunto mayor (ecosistema) con el fin de resolver un problema de investigación.

2. El axolote mexicano como variable subrogada.

Con base en lo dicho sobre lo que entendemos por variable subrogada, en esta sección nos enfocaremos en presentar el caso del axolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*) visto como una variable de tal tipo, porque es un elemento que pertenece a un conjunto mayor, el cual utilizamos metodológicamente para determinar la salud del ecosistema (conjunto mayor) que habita y así ser considerado como punta de lanza para el rescate ecológico de la zona lacustre de Xochimilco.

⁴⁰ Para explicar lo que se entiende por ‘no-monotónica’ hay que describir lo que implica que una inferencia sea monotónica. Una inferencia tiene la propiedad de ser monotónica si al añadir nueva información a un conjunto de premisas ($\Gamma + \alpha$) no se invalidan las conclusiones previas ($\Gamma + \alpha \models \varphi$) (Cf. Aliseda: 2006). Entonces, en una inferencia no-monotónica al introducir nueva información en el conjunto de premisas ($\Gamma + \alpha'$) se invalidan las conclusiones previas ($\Gamma + \alpha' \not\models \varphi$).

En la práctica científica, los biólogos utilizan ciertas especies como indicadores del estado del ecosistema. Es decir, tuvieron la idea de usar especies subrogadas (especies nativas) con el fin de plantear soluciones a las problemáticas de conservación de los ecosistemas; la intención es obtener información acerca de los impactos y alcances que tienen ciertos agentes en el ecosistema para entender el porqué en el declive o aumento de otras especies y para señalar qué áreas contienen una alta diversidad (Cf. Zambrano, *et. al.*: 2014, 429). Así, “el uso de especies subrogadas puede funcionar como un ahorro de tiempo y dinero requeridos para definir la potencialidad que tiene un área para su conservación” (*Idem*). Nótese cómo el uso de esta estrategia subrogadora no sólo tiene consecuencias epistemológicas –conocer el estado del ecosistema–, también consecuencias económicas –ahorro de dinero– y políticas –con base en la información recopilada elaborar políticas de conservación–, sólo por mencionar algunas.

Señalaremos cuatro características funcionales que tienen las especies como ejemplo de variables subrogadoras⁴¹:

- (1) *Especies indicadoras*: su presencia o ausencia nos da focos de alarma sobre el estado del ecosistema. Esto es porque algunas sólo sobreviven en ambientes bastante perturbados o son muy sensibles a los cambios físicos. Las especies de este tipo suelen ser de tamaño pequeño y tienen tiempos generacionales relativamente cortos (esto indica que son más sensibles a cambios en el sistema, así como tienen altos niveles de reproducción y un crecimiento poblacional rápido). Esta especie está subrogando a todo el sistema en el que habita, como veremos con el caso del axolote éste cumple con la función de indicar en qué estado se encuentra su hábitat.
- (2) *Especies clave*: son importantes dentro del ecosistema debido a que participan en un gran número de interacciones dentro de él. Se sigue que si acontece una modificación en sus poblaciones cambiará drásticamente la resiliencia⁴² del ecosistema. El axolote como especie de este tipo tiene la función de subrogar la cadena trófica en la que participa como depredador tope.

⁴¹ La lista siguiente está basada en (Zambrano, *et. al.*: 2014, 430).

⁴² La resiliencia se refiere a la capacidad que todos los ecosistemas tienen para tolerar ciertos niveles de perturbación.

- (3) *Especies sombrilla*: su conservación trae consigo la protección de otras especies que conviven con ellas; su hábitat tiene que ser amplio para así poder proteger a otras especies. En este caso la finalidad es la de proteger para conservar la flora y la fauna; como veremos, el axolote subroga a más de 200 especies de la región.
- (4) *Especies bandera*: suelen ser carismáticas y atractivas para la sociedad, sirven como símbolo o como punto de enfoque para alcanzar conciencia ambiental. Es deseable que tengan importancia en el ecosistema donde habitan. El axolote ha tenido históricamente una gran importancia social.

Como vemos cada uno de los tipos de especies subrogadoras cumple con una función determinada, con lo cual vemos que la especie representa a un conjunto mayor con una finalidad establecida; recordemos que esto es muy importante porque esto se liga con nuestra caracterización de la representación según la cual: la representación es de algo *por* algo *para* algo (como vimos en el capítulo primero).

Al axolote se le pueden adscribir esas características, por lo que hace que sea deseable como especie subrogadora. Así, (a) el axolote es una especie no-estática que se mueve por todo su hábitat: “puede dar información no sólo sobre una zona pequeña de la región sino sobre todo el ecosistema” (Zambrano, *et. al.*: 2014, 434); (b) al ser un depredador tope almacena sustancias contaminantes que se encuentran a su alrededor, lo que lo convierte en una especie bioindicadora de las perturbaciones ambientales; (c) al ser un anfibio se vuelve un factor para indicar la calidad del agua; y (d) indica perturbaciones bióticas debido a la introducción de especies extrañas a su hábitat (como la carpa y tilapia)⁴³, lo que provoca la modificación de la estructura trófica (cadena alimenticia) en su ecosistema. Dicho lo cual, llevemos a cabo una descripción minuciosa del *Ambystoma mexicanum*.

2.1. Características del *Ambystoma mexicanum* y de su ecosistema.

El *Ambystoma mexicanum* (también conocido como axolote de Xochimilco) es una especie mexicana, endémica del valle de México, ya que habitaba a lo largo y ancho del lago de

⁴³ Como anota Zambrano: “Ambas especies exóticas invasoras modifican el hábitat, aumentan la turbidez y reducen la abundancia de macrofitas. Estos productores primarios son la base para la sobrevivencia de los insectos y peces nativos, los cuales constituyen la dieta de los axolotes (2014, 434).

Texcoco (Cf. Arreola: 2011); actualmente su nicho⁴⁴ se ha reducido debido al drenado del lago de Texcoco a causa del aumento de la mancha urbana en la Ciudad de México, entre otros factores.

El axolote pertenece a la clase anfibio⁴⁵, debido a esto es ideal para ayudar a determinar las condiciones medioambientales a causa de su piel permeable y por su sensibilidad a sustancias tóxicas, es como el “canario de mina” del ambiente (Cf. Servín: 2011, 7). Físicamente, su apariencia es la de un renacuajo gigante, con patas y cola; su piel es generalmente lisa, cuenta con tres pares de branquias (véase imagen 1).



Imagen 1

En cuanto a su color y tamaño:

⁴⁴ Podemos entender por ‘nicho’ al espacio n -dimensional donde la interacción entre las diversas variables ambientales (físicas, químicas y biológicas) determinan la abundancia y distribución de una especie (Cf. Contreras: 2006, 5).

⁴⁵ La palabra *anfibio* proviene del griego *amphibio*, donde *amphi* significa ‘doble’ y *bios* ‘vida’, ya que el anfibio es un animal que vive una doble vida porque lleva a cabo un proceso de metamorfosis (cambio de un estado a otro, modificando sus características anatómicas y fisiológicas) cambiando de un animal acuático a uno terrestre (Cf. Servín: 2011, 6).

Su coloración puede ser muy variable. En estado silvestre, en la mayoría domina el color café oscuro a negro en el dorso, con tonos más claros en las partes ventrales. Pueden tener manchas oscuras en el dorso y lados, evidentes sólo de cerca. Debido a la expresión de diferentes genes el patrón de coloración puede tener varios tonos, especialmente en cautiverio: de gris, de café, de verde pardo, anaranjado, blanco con ojos negros, albino dorado, albino, o casi negro (melanoide) [...] Miden en promedio 25.7 cm de largo de la cabeza hasta la cola, e individuos mayores de 30 cm son raros (Arreola, 2011, 4).

Una peculiaridad de esta especie es que presenta el fenómeno de la “neotenia”, que conlleva la capacidad de reproducirse sin llevar a cabo un proceso de metamorfosis a una etapa terrestre y manteniendo las características larvarias de la fase acuática. Como nos cuenta Erika Servín: “Esta especie en raras ocasiones lleva a cabo esta metamorfosis, en general se presenta por inducción química en el laboratorio, de manera natural por hibridismo o condiciones ambientales adversas, se puede presentar sin alguna de las condiciones antes mencionadas, se dice que uno de cada 1000 ajolotes de Xochimilco puros, llevan a cabo la metamorfosis a fase terrestre de manera natural” (Servín: 2011, 11).

En cuanto a su hábitat, éste requiere condiciones particulares de turbidez, niveles de oxigenación disueltos en el agua, y condiciones estables de las corrientes. El agua tiene que tener una temperatura oscilante entre los 16° a los 18° C y no deben de exceder los 20° C (Cf. Arreola: 2011, 2).

Los axolotes respiran por medio de las ramas branquiales en un intercambio de gases: el oxígeno pasa a los capilares y a la sangre y el dióxido de carbono al agua; asimismo, cuentan con sacos pulmonares parcialmente desarrollados, por lo que ocasionalmente suben a la superficie a tomar bocanadas de aire (Cf. Arreola: 2011, 2). En cuanto a sus hábitos alimenticios, comen peces pequeños, renacuajos, insectos acuáticos, lombrices, crustáceos y moluscos de agua dulce. Cuando son larvas se alimentan de organismos microscópicos. En cautiverio su dieta es variada, incluye croquetas especiales para tortugas, grillos, turbifex, artemias, tenebrios (larvas de escarabajo) y hasta pollo (*Idem*). Algunos factores que amenazan a esta especie son las carpas (*Cyprinus carpio*), la tilapia (*Oreochromis niloticus*), lobina gris (*Micropterus salmoides*), entre otras, ya que estas especies se comen las crías del *Ambystoma mexicanum* y compiten con él por otros alimentos. Además: “los

ajolotes sufren de *chytridiomycosis*, una enfermedad en la piel asociada a los anfibios y producida por un hongo que es difícil de erradicar, y que ha infectado incluso poblaciones de laboratorio y acuario” (“2011, 5).

A continuación se mencionan, con base en dos citas, las especies (animales y vegetales) con las que el axolote comparte el hábitat⁴⁶, en la zona lacustre de Xochimilco. En cuanto a la flora tenemos 180 especies de plantas:

La vegetación propia de esta zona lacustre está formada principalmente por ahuejotes (*Salix bonplandiana*). Bordeando los canales se encuentran también casuarinas (*Casuarina sp.*), sauces (*Salix sp.*), alcanfores (*Cinnamomum camphora*) y eucaliptos (*Eucalyptus sp.*), también se encuentran espadañas (*Typha sp.*), cola de zorro (*Ceratophyllum demersum*), así como abundantes hojas de flecha y alcatraces (*Zantedechia aethiopica*).

En cuanto a las parte elevadas hay pequeñas zonas de bosque mixto con algunos pinos (*Pinus sp.*), cedros (*Cedrus sp.*), ahuehuetes (*Taxodium mucronatum*), ocotes (*Pinus montezumae*), encinos (*Quercus ilex*) y tepozanes (*Buddleja sessiflora*). En zonas de menor altura se encuentran capulines (*Prunus sp.*), y pirus (*Pyrus caleriana*). (Servín: 2011, 15-16).

En cuanto a la fauna tenemos, por lo menos, 139 especies:

Anfibios y reptiles: ajolote (*Ambystoma mexicanum*), rana (*Rana tlaloci*), cincuate (*Pituophis deppei*), víbora de cascabel (*Crotalus polystictus*) y la rana de Moctezuma (*Rana montezumae*).

Peces y crustáceos: charales (*Chirostoma jordani*) y acociles (*Camberellus montezumae*) son endémicos, como especies introducidas se encuentran las carpas (*Cyprinus carpio*) y tilapias (*Oreochromis sp.*), que han causado bajas en las poblaciones endémicas, incluyendo el ajolote.

Aves: Existe una gran diversidad de aves que suman 79 especies, entre las que destacan varias que son acuáticas y migratorias, como la cerceta ala azul (*Anas discors*), la jacana norteña (*Jacana spinosa*), la garza morena (*Ardea herodias*), la garza verde (*Butorides virescens*), la garceta pie dorado (*Egretta thula*), garza blanca (*Ardea herodeas*), gallereta americana (*Fulica americana*) y el pato golondrino (*Anas acuta*).

⁴⁶ Entendiendo por ‘hábitat’ a la zona o parte de un ecosistema que ocupa una población biológica y que reúne las condiciones de vida para que una especie pueda sobrevivir y reproducirse.

Mamíferos: Entre los mamíferos, que suman 23 especies, se encuentran: el tlacuache (*Didelphis virginianus*), el cacomixtle (*Bassariscus astutus*), la tuza (*Crotageomys merriami*) y varias especies de murciélagos. (2011, 16-17).

Todo esto viene a cuento para mostrar, un poco, la inmensa complejidad que conlleva el estudio de un ecosistema, pues sería demasiado tedioso ponerse a investigar por ejemplo a cada una de las plantas, peces o anfibios con el fin de determinar una solución que implique, por poner un caso, disminuir los niveles de contaminación aguas o campos de cultivo en la región. Por ello es muy importante la selección de una especie que funga como una variable subrogada que nos permita determinar una narrativa para explicar las causas y proponer soluciones al problema; el axolote es esta especie⁴⁷.

2.2. Disminución de la población de *Ambystoma mexicanum* e impacto en su ecosistema.

La población de axolotes presenta un descenso alarmante en los últimos años, como lo muestran cuatro censos llevados a cabo entre 1998 y 2014. El primer censo (1998) fue realizado por la UAM-Xochimilco, arrojando un promedio de seis mil ejemplares por kilómetro cuadrado. En el segundo censo, en 2003, que estuvo supervisado por el Laboratorio de Biología de la UNAM, los resultados fueron mil ejemplares por kilómetro cuadrado. En el tercer censo, también hecho por la UNAM en 2008, sólo se encontraron cien por kilómetro cuadrado. En 2014, año del último censo llevado a cabo por la UNAM, los resultados son verdaderamente alarmantes: “En total se registraron siete avistamientos y una captura de un individuo macho que midió 28 cm y pesó 153 g” (Zambrano, *et. al.*: 2014, 29). Asimismo, en épocas recientes se han recolectado algunos especímenes, los cuales presentan daños a nivel hepático y de branquias, además de algunas enfermedades causadas por hongos.

Algunos factores que intervienen y que explican la disminución poblacional en los canales de Xochimilco son los siguientes: (a) “los individuos se encuentran en sitios

⁴⁷ No debe pasarse por alto, aunado a todas las características biológicas inherentes al axolote, el factor cultural que contribuyó a verlo como especie bandera.

El axolote dentro de la cultura mexicana (en específico en la cuenta del valle de México) fue concebido como un dios para los mexicas (el dios Axolotl), como un manjar culinario, para preparar jarabes con los cuales se trataban enfermedades respiratorias, entre otros aspectos (Cf. Arreola: 2011).

aislados y específicos, es decir, se distribuyen en un patrón de agregación en las poblaciones” (Contreras: 2006, 4); (b) hay una fragmentación del hábitat a causa de asentamientos irregulares en la zona, esto es debido a la urbanización desmedida; (c) las especies depredadoras que se comen al axolote durante su estado larvario, así como también son sus competidores para cazar el alimento cuando alcanzan su madurez; (d) “El régimen hídrico es manipulado de manera directa por el hombre, por lo que se presentan cambios ambientales rápidos” (*Idem*); (e) contaminantes químicos provenientes de las lanchas que navegan por los canales así como la descarga de desechos; y (f) la pesca furtiva, la cual selecciona a individuos menores de un año.

Con base en la información anterior, podemos ver que el fenómeno de la disminución poblacional y posible extinción en condiciones silvestres del axolote mexicano está íntimamente ligado al estado de salud del ecosistema en el que habita (zona lacustre de Xochimilco). En los canales de Xochimilco, más del 85 % del hábitat original ha sido drenado y rellenado por la creciente urbanización en la zona, el 15 % restante del agua enfrenta serios problemas de contaminación debido principalmente a las descargas del drenaje de miles de casas, el agua tratada proveniente del Cerro de la Estrella, los fertilizantes agrícolas, el sobre crecimiento del lirio acuático, la presencia de metales pesados y la descarga de combustible por parte de lanchas de motor (Cf. Arreola: 2011, 6; Servín: 2012, 17).

La situación del descenso poblacional y las condiciones físicas del *Ambystoma mexicanum* nos permiten ver los problemas que acontecen en el ecosistema entero de la zona lacustre de Xochimilco. Es decir, lo que pasa con el axolote es análogo a lo que está pasando en el sistema entero. La contaminación del lago implica un fuerte golpe a la resiliencia del ecosistema que poco a poco menguará; lo cual traerá, además, la destrucción de la cadena trófica en la que el axolote es el depredador tope. El estudio del axolote como variable subrogada sintetiza a todo su hábitat. De los estudios realizados, se destaca que la contaminación por sustancias químicas es el principal factor que pone en riesgo la sobrevivencia del axolote; esto fue determinado por los especímenes capturados que presentaban daños hepáticos y branquiales. Con lo cual se concluye, mediante esta vía, que el lago presenta altos grados de contaminación en muchos de los canales, obviamente

también se tomaron muestras de agua para ser analizadas en el laboratorio y corroborar la contaminación. Asimismo, esto también ha tenido un fuerte impacto en la actividad agrícola de la zona ya que muchas chinampas⁴⁸ y extensiones de tierra alrededor del lago han sido abandonados debido a que se volvieron no-aptos para cultivo gracias a las sustancias tóxicas que se encuentran presentes en el suelo. Todo esto ha motivado campañas para la rehabilitación de la zona lacustre que van desde promover nuevas áreas de reserva ecológica hasta impedir el avance desmesurado de la urbanización.

3. Observaciones finales.

La estrategia metodológica de concebir al *Ambystoma mexicanum* como variable subrogada ha permitido poner a la vista las ventajas de esta estrategia; así, el axolote está subrogando a un conjunto de una cardinalidad mucho mayor con la finalidad de llevar a cabo inferencias, con base en él, que nos permitan conocer el estado del conjunto (como vimos en la primera sección de este capítulo), que no sólo involucra cuestiones bióticas (flora y fauna), también sociales. Dicho de otro modo, subroga varios niveles que están presentes en el ecosistema como el biótico, la agricultura, el cultural, entre otros. Algunas de estas ventajas residen en la reducción de complejidad al momento de estudiar el estado de salud de todo el ecosistema; el axolote al ser una especie endémica y por sus características y funciones biológicas facilita el poder extraer inferencias relevantes para resolver un problema (por ejemplo, los daños hepáticos encontrados en especímenes sugieren que las altas concentraciones de sustancias químicas tóxicas presentes en las aguas nos hablan del alto grado de contaminación de éstas, por lo que se trabaja para resolver este problema). Asimismo, como ya mencionamos antes, significa una economía en tiempo y recursos monetarios, pues sería enorme el tiempo para analizar el ecosistema en su totalidad mucho el dinero para llevar a cabo esta empresa.

El fenómeno de la disminución poblacional y posible extinción en su hábitat del *Ambystoma mexicanum* está íntimamente ligado al estado de salud del ecosistema lacustre en el que vive; por eso fue elegido como especie subrogadora.

⁴⁸ Las chinampas son islotes artificiales creados sobre el lago mediante la superposición de capas de troncos, tierra, lodo y raíces, asegurados por lianas y en cuyas orillas se plantan estacas vivas de ahuejote que al desarrollar sus raíces fijan las chinampas (Cf. Servín: 2011, 15).

Ahora bien, esta estrategia para razonar subrogatoriamente connota los siguientes aspectos: (1) nos valemos de un elemento o subconjunto *perteneciente* a un conjunto mayor para profundizar en el conocimiento de un aspecto o estado de dicho conjunto; (2) no podemos estudiar el conjunto mayor porque *desconocemos ciertos aspectos (como la interacción entre todas las variables implicadas), así como su cardinalidad*; (3) no utilizamos entidades o relaciones de otros dominios para extraer información que será *interpretada y trasladada* al dominio bajo investigación; (4) en el caso del axolote vimos que utilizamos una entidad material para explicar, predecir e interpretar a un grupo de procesos o entidades materiales (sí nos valemos de aparatos formales-conceptuales pero lo que queremos destacar es el aspecto material); con lo cual (5) permite desarrollar una narrativa explicativa que nos indica algunas conexiones causales entre las variables subrogadas y el conjunto mayor (en el caso del axolote, al encontrar especímenes con daños en branquias e hígado vemos que esto es causado por los desechos combustibles arrojados a los canales, lo que a su vez nos da una causa de la contaminación del agua en esa zona y otro factor para la disminución poblacional dramática de este anfibio mexicano); y (6) vemos que las inferencias que nos conducen a ciertos resultados son de naturaleza no-monotónica ya que al añadir nueva información al conjunto de premisas se pueden invalidar conclusiones previas (en el caso del axolote supongamos que, con base en nueva información, lo que explica la razón en el descenso de su población no son las sustancias químicas sino la disminución en el nivel de los canales, dado que el hombre ha cambiado constantemente su nivel, lo cual invalida que la conclusión previa que nos dice que las sustancias químicas eran el principal causa). Con base en estos puntos nos abocaremos, en el capítulo siguiente, a llevar a cabo una comparación entre esta idea de subrogación y la propuesta de Ibarra y Mormann.

CAPÍTULO III

Razonamiento subrogatorio: variables y homología.

En los capítulos anteriores nos hemos ocupado en presentar el enfoque homológico-performativo de la ciencia, desarrollado por Andoni Ibarra y Thomas Mormann, y el caso del axolote mexicano como variable subrogada, todo ello con el fin de sostener que el estudio de la representación científica, cuyo eje es la práctica científica, desemboca en el escrutinio del razonamiento subrogatorio. Representación y subrogación están íntimamente ligados. Hemos resaltado que hay varias estrategias para argumentar subrogatoriamente, esto lo hicimos notar en el capítulo primero al describir la estrategia utilizada por Ibarra y Mormann, respecto de las de Shimojima y Swoyer; mientras que en el segundo capítulo, con el uso de variables mostramos otra estrategia metodológica de subrogación que consideramos que se distancia de las seguidas por los autores mencionados.

El objetivo de este capítulo es entender de qué manera el caso del axolote mexicano como variable subrogada constituye la base para las observaciones críticas a la noción de razonamiento subrogatorio del enfoque representacional de Ibarra y Mormann. Sostenemos que dicha noción no es lo suficientemente adecuada para cubrir casos que involucren variables subrogadas.

En el fondo, lo que queremos es enriquecer nuestro entendimiento de la subrogación; es decir, qué estrategias metodológicas están detrás de él, cómo puede relacionarse con otro tipo de inferencias como la abductiva o si es de esta clase, etc.

La lógica del capítulo, por motivos de presentación, es recordar brevemente en qué consiste la propuesta de Ibarra y Mormann acerca de la representación homológica. En seguida, veremos que estos autores están vinculando dicha noción a un proceso abductivo, pero nunca dicen qué es lo que entienden por el concepto de abducción, por lo cual nos proponemos completar este vacío argumental con la propuesta de Atocha Aliseda respecto a lo que se puede entender por tal concepto. Toda vez que hayamos completado la estructura argumental de propuesta de Ibarra y Mormann, procederemos a presentar las críticas de Sergio F. Martínez contra el enfoque propuesto por dichos autores. Sobre la base de esas críticas elaboraremos las propias apoyándonos en el ejemplo del axolote mexicano,

desmenuzado en el capítulo segundo. Asimismo, nos centraremos en las diferencias entre las estrategias que involucran el uso de variables subrogadas respecto de las que implican algún tipo de preservación estructural o de relaciones lógicas.

1. Consideraciones críticas en torno al enfoque pragmático representacional.

En esta sección nos ocuparemos en exponer algunas críticas respecto al enfoque homológico-performativo y que incidirán en la noción de razonamiento subrogatorio. Para ello nos valdremos de los comentarios, a esta propuesta, de Sergio Martínez en (Martínez: 2001). Antes de ocuparnos en esa crítica tendremos que volver sucintamente sobre la noción de homología.

Para el enfoque homológico-performativo la condición inherente para la representación es la preservación de relaciones de orden (lógicas) entre sus correlatos; lo que importa es la semejanza lógica no tanto la objetual o la estructural. Para ello toma como caso la construcción representacional sustitutiva que hace Descartes para solucionar el problema de Pappus; muestra, por tanto, que el dominio del álgebra es un sustituto en tanto que construcción del dominio de la geometría y no su reflejo.

La estrategia seguida por Descartes, nos cuenta Andoni Ibarra, es la siguiente: el problema de Pappus puede ser expresado como <<dadas 2_n rectas, hay que encontrar el lugar de un punto tal que el producto de sus distancias a n de esas rectas esté en un relación determinada con el producto de las distancias con las otras n >>. Para su solución, Descartes considera que las líneas dependen de las relaciones métricas contenidas en el enunciado del problema. Con lo cual el problema a resolver son las relaciones métricas y no las líneas. Determinar estas relaciones, denominadas *ratios*, es el objetivo del análisis matemático porque son ellas las que dan cuenta de las posiciones de las líneas. El análisis matemático hace corresponder a cada uno de los elementos lineales una <<cifra>> para obtener una ecuación algebraica (esto posibilita que las ecuaciones algebraicas representen a las relaciones geométricas). A guisa de ejemplo, con el sistema de coordenadas cartesianas, se puede representar el análisis del lugar de cuatro rectas como el problema de resolver la ecuación de segundo grado con dos incógnitas. De modo que se concibe la naturaleza de las líneas curvas según el grado de sus ecuaciones: la relación de representación está

determinada por la preservación del orden lógico existente entre el grado de ecuaciones y el género de las líneas correspondientes (Cf. Ibarra: 2000, 34-35).

Así, la subrogación se da porque utilizamos entidades del sistema representante en vez de las entidades del sistema representado. En otras palabras: “Por alguna razón no podemos manipular directamente los objetos originales, lo podemos hacer con dificultad, o creemos conveniente no operar con ellos; en su lugar manipulamos sustitutos apropiados. Es en este sentido como el razonar representacionalmente puede interpretarse como un tipo característico de *razonamiento subrogatorio*” (Ibarra & Mormann: 2000, 41). Ejemplo de ello lo encontramos en la teoría estándar de la medida, en la cual los números funcionan como subrogadores o sustitutos vicariales de objetos o porciones de la realidad. Pero hay que tener cuidado en creer que el *quid* de la subrogación radica en su aspecto sustitutivo, esto es a lo que van Ibarra y Mormann cuando dicen que: “Así, desde nuestra perspectiva, el énfasis sobre la virtud funcional de la representación consistente en que ofrece la posibilidad de “razonar subrogatoriamente” [...] es engañosa [misleading]. Esta expresión sugiere que el razonamiento representacional es algo que debe ser considerado más o menos como un pobre sustituto o “ersatz” de algo más [...] Por el contrario, el razonamiento representacional es un razonamiento de “hecho y derecho”.”(Ibarra & Mormann: 2005, 18).

Por supuesto que visto superficialmente puede inducir esa idea, el énfasis radica en que permite el traslado de inferencias de un dominio a otro. Así, por ejemplo, en la estrategia algebrizadora de Descartes para la solución del problema de Pappus de las curvas, no podemos decir que las ecuaciones que representan a las curvas sean unos sustitutos burdos de ellas, más bien, lo que permiten, al razonar subrogatoriamente, es transferir inferencias de las propiedades de los sistemas de ecuaciones a las figuras de la geometría; lo que no equivale a una reducción de la geometría al álgebra sino una nueva reconstrucción conceptual de la primera. Si pensamos a la argumentación subrogatoria como mera sustitutiva caemos en la indeseable idea de que cualquier cosa puede ser utilizada como sustituta de otra. En cambio, lo que tiene que tomarse en serio es que la aplicación de inferencias de un dominio a otro tiene que cumplir la condición de preservar las relaciones de orden o lógicas entre ambos. Puesto en otros términos, tienen que cumplirse ciertas

simetrías entre lo que dice la teoría y lo que acontece en el sistema representado. Con ello vemos que la idea de simetría subyace al razonamiento subrogatorio (Cf. Ibarra & Uribarri; 2000, 66).

Esta idea de simetría es la descrita en el diagrama de Hertz, que describe la actividad científica predictiva como la búsqueda de tales simetrías, así como lo muestra el formato general de un experimento, a la Duhem, teóricamente controlado, en el que se busca establecer la simetría entre la parte “real” y “teórica”. El diagrama de Hertz representa, por tanto, procesos. Ello nos lleva a ver que:

El aspecto más relevante de todas esas representaciones reside en el hecho de que las reglas de inferencia del sistema representante son más transparentes que las reglas del sistema representado. Esta estimación, sin embargo, no es directamente correlativa, sino de naturaleza abductiva. La *abducción representacional* permite elucidar el carácter inductivo del propósito de la representación. La representación, en efecto, es una especie de traducción establecida en un registro no neutral. La traducción abductiva faculta el descubrimiento de aspectos del sistema representado, que no podrían haber sido explicitados –o podrían haberlo sido más penosamente- sin el concurso de la representación. Esta función inductiva de la representación no se limita en ningún modo al ámbito de la matemática, sino que es característico también de las teorías científicas. (Ibarra & Mormann: 1997a, 292).

Una buena representación tiene poder abductivo (y no es una mera traducción exacta y precisa entre los correlatos). Esta cita es de importancia capital porque vierte luz acerca de la naturaleza de la inferencia subrogativa al identificarla como abductiva. No obstante, nuestros autores no profundizan en lo que entienden por abducción, pues, como es común en filosofía, pueden entenderse por este concepto muchas cosas.

1.1. Abducción y subrogación en el enfoque representacional de Ibarra y Mormann.

Lo que pretendemos realizar a continuación es basarnos en las ideas sobre abducción de Atocha Aliseda para ligarlas con el enfoque performativo y así comprender más la naturaleza abductiva del razonamiento subrogatorio.

Para Atocha Aliseda el proceso abductivo va más allá de la forma argumentativa para convertirse en un cambio epistémico de creencias. La estructura del proceso abductivo se caracteriza por novedad y anomalía abductiva. Estas ideas, como dice nuestra autora, surgen y se derivan del trabajo de Charles Sanders Peirce⁴⁹ y se conectan con teorías de revisión de creencias en inteligencia artificial. La abducción en tanto proceso de razonamiento tiene el siguiente esquema lógico:

$$\theta, \alpha \Rightarrow \varphi$$

Donde θ es la teoría de trasfondo, α la explicación abductiva y φ la observación o creencias. Algunos parámetros que determinan varios tipos de abducción son: (i) Parámetro inferencia (\Rightarrow) relación entre explanandum (φ) y explanans (θ, α) que puede ser ya sea consecuencia lógica clásica, inferencia estadística o inferencias no-clásica; (ii) detonadores abductivos, o bien φ es un fenómeno novedoso o es un fenómeno que entra en conflicto con la teoría (anomalía); por último, (iii) los ‘productos’ α son los diversos productos de los procesos abductivos, esto es, hechos, reglas e incluso teorías (Cf. Aliseda: 2011, 20-21). Aliseda además incorpora a la “revisión” como caso de razonamiento abductivo, lo que implica que los cambios en las teorías no sólo se dan por la acumulación de nueva información o descubrimientos, también se dan como consecuencia de anomalías. Así, nos dice nuestra autora, nos acercamos a la noción peirceana de abducción en la que <<un hecho es sorprendente>> por ser una experiencia novedosa o contraria a las expectativas. Un hecho sorprendente dispara el razonamiento abductivo. La noción de sorpresa es relativa a una teoría θ de trasfondo, la cual nos brinda expectativas. Luego el *hecho sorprendente*, anómalo o novedoso, requiere de explicación, formalmente una novedad abductiva: φ es novedosa si y sólo no puede ser explicada $\theta \not\Rightarrow \varphi$ ni tampoco su negación $\theta \not\Rightarrow \sim \varphi$. Mientras que una anomalía abductiva: φ es anomalía si y sólo si no puede ser

⁴⁹ Para Peirce hay tres modos de razonamiento: (1) deducción, (2) inducción y (3) hipótesis (luego la denomina abducción). Cada una es un proceso de prueba independiente y corresponde a una forma silogística particular. En la última formulación lógica de la abducción, Peirce utiliza esta forma:

“The surprising fact, C, is observed.

But if A were true, C would be a matter of course.

Hence, there is reason to suspect that A is true” (C. P. 5.189)

El hecho sorprendente detona el cambio de un estado de creencia a uno de duda, ese cambio de creencias se da pues por novedad (nueva experiencia) o por anomalía (experiencia contraria a nuestras expectativas) (Cf. Aliseda: 2006, 173).

explicada $\theta \not\Rightarrow \varphi$, y de hecho la teoría da cuenta de su negación $\theta \Rightarrow \sim \varphi$ (Cf. 2011, 21). La novedad abductiva nos lleva a la idea de expansión abductiva: dada una novedad abductiva $\theta \not\Rightarrow \varphi$, $\theta \not\Rightarrow \sim \varphi$, una explicación consistente α se calcula de tal forma que $\theta, \alpha \Rightarrow \varphi$. Con lo cual se añaden φ y α a la teoría θ por medio de una simple expansión; es decir, podemos aplicar el aparato conceptual de un sistema para asimilar y dar cuenta de otro. Por otra parte, la anomalía abductiva nos conduce a la revisión abductiva: dada una anomalía abductiva $\theta \not\Rightarrow \varphi$ y $\theta \Rightarrow \sim \varphi$, una explicación consistente α se calcula revisando θ de tal forma que no explique a $\sim \varphi$. Con lo cual se obtiene θ' de tal forma que $\theta' \not\Rightarrow \sim \varphi$ donde $\theta' = \theta - \{\beta_1, \dots, \beta_n\}$. Una vez obtenida θ' se genera una explicación α consistente con θ' de tal forma que $\theta', \alpha \Rightarrow \varphi$. Así el proceso de revisión involucra los procesos de contracción y expansión (Cf. 2011, 21-22). En resumen:

El razonamiento abductivo se dispara por una sorpresa, la cual genera una duda que puede ser de dos tipos: novedad o anomalía. En el primer caso el fenómeno a explicar es totalmente nuevo y consistente con la teoría, por lo que su explicación se calcula y se incorpora a la teoría por la operación de extensión. En el segundo caso, como el hecho es anómalo, la operación de revisión es necesaria para incorporarlo. Así, la teoría se revisa de tal forma que su modificación no esté en conflicto con el hecho a explicar, a continuación se calcula la explicación y se incorpora a la teoría revisada por expansión. (Aliseda: 2011, 22).

Como hemos visto, la hipótesis explicativa puede decirse que es lo que diferencia la abducción de otras inferencias, pues supone un elemento creativo y expansivo en nuestro sistema de creencias. Nuestra hipótesis abductiva α es el lazo que nos permite vincular dos sistemas, es decir, es condición de posibilidad de la representación. Para poner un ejemplo, la hipótesis abductiva α que permitió a Descartes resolver el problema de las curvas fue suponer que las propiedades de las ecuaciones podían ser transferidas a las figuras de la geometría para lograr inferencias que nos condujeran a conclusiones relevantes –es decir, resolver tal problema. El razonamiento subrogatorio al ser de naturaleza abductiva nos dice, reitero, que la condición de posibilidad para la representación científica es la formulación de hipótesis α porque con ellas vinculamos los sistemas representante y representado; asimismo, comprobamos si tal representación es adecuada si consigue preservar las relaciones lógicas o de orden procesual entre ambos correlatos, presenciando así las simetrías entre la necesidad natural con la necesidad intelectual. Por otro lado, este aspecto

creativo nos muestra y enfatiza que es la intencionalidad del sujeto interpretante la que subyace a la idea de representación científica; la cual es un concepto netamente pragmático.

Ahora bien, podemos ensayar una definición, basándonos en Ibarra y Mormann de tal manera que el razonamiento subrogatorio es: un razonamiento de tipo abductivo que posibilita la aplicación de las ideas del sistema representante B en un sistema A – representado-, generando una representación, cuya finalidad es obtener un mayor conocimiento de este último sistema; mostrando que la representación es adecuada si preserva relaciones de órdenes o lógicas, en las que se exhiben las simetrías, entre ambos correlatos.

La definición anterior está basada en la propuesta homológico-performativa de la representación defendida por Ibarra y Mormann, la cual será criticada por Sergio Martínez. Consideramos que las observaciones de Martínez son pertinentes para conducirnos a las nuestras, por lo cual nos ocuparemos de ellas.

1.2. Críticas al enfoque de representación homológica.

A continuación presentamos las críticas de Sergio Martínez contra la representación homológica, éstas conducen a las nuestras. En “Historia y combinatoria de las representaciones científicas. Comentarios a la propuesta de Ibarra y Mormann” Sergio Martínez concuerda con esos autores en que es necesario tener en cuenta el carácter interdependiente y reticular de las representaciones al momento de estudiar el tema de la representación en ciencia.

El primer punto de la crítica de Martínez reside en que hay problemas con el tipo de formalización propuesto. De ahí que: (1) la primera observación crítica de Martínez se ocupa de la afirmación de Ibarra y Mormann de que todas las funciones presentan la condición de asociatividad, pero nuestro autor muestra que hay al menos un tipo muy importante de funciones utilizadas en ciencia como son las exponenciales en las que no se cumple dicha condición (por ejemplo, al modelar el crecimiento de poblaciones en biología). Sin embargo Martínez dice que este tipo de función a un nivel abstracto es importante, lo cual consideramos parcialmente correcto porque hay casos muy concretos en los que esto no es así; por ejemplo, quienes defienden que el tamaño de un organismo está

directamente relacionado con su actividad metabólica, utilizan este tipo de funciones modelando la gran cantidad de mediciones que han realizado para mostrar que esa idea es una ley de la naturaleza (Cf. West & Brown: 2004; West, *et. al.*: 1997). Si esto es correcto, entonces el problema de Ibarra y Mormann es mayor porque su idea de asociación representacional no se aplica a todos los casos científicos. (2) Ibarra y Mormann dicen que la teoría matemática de categorías permite hablar de representaciones que preservan relaciones lógicas; a lo que objeta Martínez que es posible definir relaciones lógicas como estructuras, por tanto hay que justificar más la tesis de que las representaciones homológicas son más generales que las homomórficas. De ahí que Sergio Martínez tiene razón cuando dice que el problema es el uso del aparato de teoría matemática de categorías para hablar de cuestiones empíricas. Porque el uso de categorías en matemáticas no es tan problemático como en ciencias de corte empírico; ya que en matemáticas una categoría está formada por objetos (conjuntos finitos) y morfismos (una regla que relaciona objetos entre sí) que tienen que cumplir con, al menos, dos leyes: identidad y asociatividad (Cf. Lawvere & Schanuel: 2002, 13-22). Pero de ahí a que en toda la ciencia sea así hay mucho trecho, por ejemplo esto no es el caso cuando presentamos la estrategia de variables subrogadas o como lo dicho por Sergio Martínez de que la función de exponenciación no cumple la asociatividad. (3) Martínez considera que los estudios sobre ciencia en los que apoyan su propuesta Ibarra y Mormann (esto es, en Latour, Pickering, Galison, etc.), implican que su enfoque –al que tilda de formalista- tiene serias limitaciones, y considera que tienen que dar cuenta de la distinción entre representaciones objetivas y representaciones subjetivas.

El segundo punto reside en que deja mucho que desear la clasificación de tipos de representaciones⁵⁰ en la ciencia que postulan dichos autores. Martínez replica que: (i) es

⁵⁰ La cual consiste en cuatro tipo:

- (1) Isomórfica: este tipo de representación, tal como la caracterizan Ibarra y Mormann, no desempeña un papel tan relevante en la práctica científica. La razón es que en esta clase de representación se da una semejanza uno-a-uno entre los dos relatos, es decir, uno es la imagen especular del otro. Si W está representado isomórficamente por M, entonces W y M pueden ser considerados como imágenes especulares entre sí mismos. Copias de mapas, planos, gráficas, etc., son ejemplos comunes de esta clase de representación (Cf. Ibarra & Mormann: 2005, 4).
- (2) Sustitución: este tipo de representación podría decirse que es “la más sencilla”. Un ejemplo claro de sustitución se da cuando representamos entidades empíricas de diverso tipo por medio de números u otras magnitudes matemáticas. Otro caso es “cuando un ejemplar se concibe como representante, esto es, como representación de su especie [...] Este sentido es el preeminente sobre todo en el campo de las ciencias taxonómicas; por ejemplo, en la biología tradicional” (Ibarra:

una clasificación metodológica confusa y no queda claro cuáles son las razones para conformarla (parecen motivaciones metafísicas); (ii) en cuanto a la isomorfía, los autores hablan de ella como similaridad (‘imagen especular’) pero no hay que confundir similitud con semejanza. Parece que caricaturizan una tradición, si es que hay alguna, isomórfica como un espantapájaros: “Después de todo, en matemáticas, un isomorfismo es un caso especial de homomorfismo” (Martínez: 2001, 82). (iii) Parece que la clasificación es *subspecie aeternitates*. (iv) Ibarra y Mormann generan una falsa oposición entre la tradición homológica y otras de representación. (v) Metodológicamente se utilizan más la contraposición entre representación objetiva *versus* representación subjetiva, que representación homológica en relación a otro tipo de representaciones. (vi) En cuanto al carácter combinatorio y situado, nos comenta Martínez, hay estudios sobre ciencia que reconocen este carácter pero no apoyarían esa clasificación. (viii) Contra la idea de Ibarra y Mormann de que su propuesta captura propiedades esenciales de la representación, Martínez sostiene que no hay tales propiedades y que la representación se estudia casuísticamente. Por tanto la clasificación propuesta no corresponde a la manera en que intervienen las representaciones en la práctica científica.

El tercer y último punto tiene que ver con el diagrama de Hertz. Martínez adelanta que (a) en las ideas de Hertz hay una firme creencia en el determinismo⁵¹ del mundo, por lo que no tiene sentido interpretar ese diagrama sin ese supuesto; error en el que incurren Ibarra y Mormann. (b) Estos autores parecen creer que “naturalmente necesario” se elucida dándole

2003, 24). El meollo del asunto es buscar un sustituto adecuado para la representación de una entidad. En términos generales, esto compete en mayor medida al científico o la comunidad científica que busca obtener un conocimiento acerca de un fenómeno del mundo. En suma, este sustituto adecuado para la representación puede guardar o no semejanza objetual con lo representado (como en el caso en que un modelo a escala de un puente guarda semejanza objetual con el puente que pesa miles de toneladas; en cambio, un número no guarda semejanza objetual con cualquier entidad empírica).

- (3) Homomorfía: Este tipo de representación es concebida como una aplicación preservadora de estructuras. Para ilustrar la clase de representación que es ésta, podemos utilizar la llamada ‘teoría de la medida’ que puede ser entendida como un homomorfismo de preservación estructural entre el dominio de objetos empíricos –lo que será medido- y el dominio de los números reales \mathbb{R} .
- (4) Homología: que se caracteriza por preservar relaciones lógicas.

⁵¹ El determinismo, en filosofía de la ciencia, se basa en la confianza de que hay leyes en la naturaleza que pueden ser conocidas por la mente humana. Estas leyes son capaces de explicar las regularidades en la naturaleza y por tanto, por medio de esas leyes, contaríamos con la capacidad de determinar las causas de diversos sucesos, y por esta vía poder predecir el comportamiento futuro de tales hechos (Cf. Ávila: 2008).

el sentido de que el diagrama tipo Hertz conmuta (Cf. Martínez: 2001, 85). (c) ¿Cómo se entendería el diagrama tipo Hertz en procesos no-deterministas e impredecibles? Pues el diagrama connota que los procesos seguidos son lineales y no deja escapar la idea de que al momento de estudiar un caso, como en biología, tenemos muchas causas que pueden dar cuenta de él; como en el caso del axolote que refleja la salud del ecosistema vemos que es un caso multifactorial donde intervienen muchas causas en el deterioro ambiental de Xochimilco, lo cual no puede ser explicado si seguimos la linealidad del diagrama. De manera que el análisis de ecosistemas permite que los visualicemos como una red de componentes conectados e interactuando de maneras que sólo pueden ser descritas por relaciones altamente no-lineales. Asimismo, todo el vocabulario que utilizan anacrónicamente Ibarra y Mormann para su propuesta, es decir, *las simetrías entre las consecuencias naturalmente necesarias y las consecuencias intelectualmente necesarias* nos brinda una cosmovisión terriblemente determinista, como ya mencionamos, que, a nuestro juicio, no encaja con la práctica científica actual, por eso ahora se habla en términos de sistemas complejos⁵². Finalmente (d) ¿Cuál es el concepto de “estado” al que hacen alusión? Ya que no en todas las teorías científicas tiene sentido hablar de estados, también “el concepto de estado no puede darse por sentado en una discusión filosófica de teorías empíricas” (2001, 86).

En suma, concordamos con las críticas de Martínez respecto a que necesitamos una herramienta representacional para dar cuenta de procesos deterministas y no-deterministas. No objetamos que la teoría matemática de categorías tenga virtudes (sin duda muchas) pero no creemos que sea la herramienta principal mediante la cual damos cuenta de la actividad representacional en la ciencia; pues, como hemos visto, no todas las representaciones en ciencia cumplen con la condición de asociatividad que una categoría tiene que cumplir por definición, los modelos de crecimiento poblacional modelados por funciones exponenciales son un buen ejemplo para apoyar lo anterior. Además, lo que queremos destacar son los valores cognitivo, heurístico y metodológico de la subrogación, no el aparato formal que usamos para hablar de ella.

⁵² Un sistema complejo, a diferencia de uno simple, es visto como una entidad cuyo comportamiento global es más que la suma de sus partes. A menudo se le concibe en forma reticular en donde la dinámica de sus componentes no permite inferir una descripción simplificada del sistema (Cf. Ritter & Pérez: 2011).

Contra estas críticas Ibarra y Mormann replican que las observaciones de Sergio Martínez están basadas en (I) una aceptación acrítica de algunas dicotomías tradicionales, (II) una interpretación distorsionada de la historia de la filosofía de la ciencia y (III) una mala catalogación del enfoque como formalista (ya que cualquiera es libre de utilizar el aparato o instrumentos formales que quiera para explicar su enfoque).

Respecto del contraargumento de las funciones de exponenciación (punto (1)) que Martínez dice que son inaplicables en muchos casos de representación puesto que no son asociativas, Ibarra y Mormann objetan que las concatenaciones funcionales son asociativas por definición (claro que lo son pero dentro de la teoría de categorías), por eso no es conveniente contraponer las operaciones (generalmente no-asociativas como lo es la exponenciación a la que alude Martínez) a las combinaciones funcionales que sí son asociativas (Cf. Ibarra & Mormann: 2001, 101). Por ello se basan en la teoría matemática de categorías puesto que es una teoría de las combinaciones funcionales generalizadas.

Nuestros autores sostienen que el concepto de representación hace obsoleta la distinción tradicional entre ciencia y metaciencia. Arguyen que la práctica científica es iterativa, por lo que el papel de la filosofía de la ciencia ya no es el de simple espectador sino que tiene que ser más activo (concepción activista) centrada en las práctica reales de la ciencia existente. Por otro lado, contra lo dicho de que su clasificación, de los tipos de representaciones en la ciencia, es *subspecie aeternitatis* objetan que la representación homológica no es la culminación histórica del desarrollo representacional. Respecto a la objeción de Martínez acerca de que la homología se asimila al concepto de preservación estructural (punto (2)), responden, *cito in extenso*, que:

Una de las cuestiones esenciales de la teoría de categorías es la distinción entre morfismo y funtores: los primeros son pertinentes para lo que en el lenguaje de la matemática tradicional se denomina “preservación estructural”, mientras que los funtores caracterizan lo que [...] llamamos relaciones “homólogas”. No está excluido que en un nivel superior los funtores puedan ser considerados como morfismos de categorías, que pueden ser conectados por relaciones functoriales mediante funtores de un tipo más alto [...] Ésta es también la característica central de lo que algo anacrónicamente llamamos diagrama de Hertz, es decir, el hecho genuino de que las representaciones “horizontales” se distinguen esencialmente de las representaciones “verticales” (Ibarra & Mormann: 2001, 104-105).

Ahí que estos autores argumenten que la homología no tiene que ver con la contraposición aporética, con base en la cual argumentaba Martínez, entre representaciones objetivas y representaciones subjetivas. Además de que su enfoque se basa en las ideas de Peirce y de Cassirer para los cuales es estéril esa contraposición.

Sin embargo, Ibarra y Mormann no responden específico al tercer punto de la crítica de Martínez, esto es, a lo que concierne al diagrama de Hertz, pues no dicen cuál es el concepto de ‘estado’ al que se refieren, ni cómo entender dicho diagrama en procesos no-deterministas, así como desligarlo del trasfondo determinista inherente a la propuesta de Hertz.

Pues bien, en esta sección y en la anterior hemos presentado algunas observaciones críticas en torno al enfoque homológico de la representación científica. Destacamos que no explican lo que entienden por abducción, dado que mencionan que una buena representación tiene poder abductivo; para aclarar lo anterior nos basamos en lo que establece Atocha Aliseda sobre abducción, con lo cual queríamos ligar esta noción con el enfoque. Por otro lado, con base en la discusión de Sergio Martínez con Ibarra y Mormann, recalamos que los promotores de la homología no responden a la cuestión de cómo entender su propuesta en procesos no-deterministas, dado el sesgo determinista en las ideas de Hertz. Lo que sostendremos a continuación es que este enfoque representacional brinda una estrategia para razonar subrogatoriamente que no puede capturar casos que involucran variables subrogadas.

2. Distinción entre estrategias de razonamiento subrogatorio.

El objetivo de la representación científica es la aplicación de un sistema B para extraer inferencias que nos ayuden a explicar, interpretar o predecir el comportamiento o un estado en un sistema A, a esto se le llama razonamiento subrogatorio. Como vimos en el primer capítulo, tenemos muchas estrategias para razonar en el sistema B y transferir las inferencias obtenidas en éste para entender o conocer el sistema A. En la primera estrategia se conciben a los correlatos de la representación como conjuntos entre los cuales tiene que

darse una relación de similaridad estructural⁵³, que es la defendida por Chris Swoyer. En la segunda, también los correlatos son conjuntos pero tiene que haber una especie de *match* entre ellos (semejanza entre los procesos seguidos en cada dominio que puede concebirse como lógica), que es la defendida por Atsushi Shimojima. Por su parte, en la tercera estrategia, la del enfoque de Andoni Ibarra y Thomas Mormann, los correlatos en vez de conjuntos son dominios ordenados en los que se busca que se preserven las relaciones lógicas entre ambos.

Para Ibarra y Mormann representar significa razonar subrogatoriamente, la naturaleza de este razonamiento es abductiva y se basa en simetrías entre las ‘consecuencias naturalmente necesarias’ y las ‘consecuencias intelectualmente necesarias’, basadas en las ideas de Hertz. Pero como hemos visto, no explican qué es lo que entienden por abducción (tratamos de aclararlo y ligarlo con las ideas sobre abducción de Atocha Aliseda). Tampoco responden a las críticas sobre el trasfondo determinista y la noción de ‘estado’ que está en el diagrama de Hertz⁵⁴, adelantadas por Sergio Martínez; como dice este autor, no tiene sentido interpretar ese diagrama sin tal supuesto. Sostenemos que la estrategia subrogatoria del enfoque homológico no es adecuada para tratar con casos que involucren variables

⁵³ Thomas Mormann (Cf. Mormann: 1995) brinda un magnífico ejemplo para tomar conciencia de la similaridad estructural. Nos dice que imaginemos que a alguien se le ha pedido determinar la similaridad entre x y y , x' y y' , x'' y y'' ... Puede juzgar que x y y son similares siempre y cuando sus conjuntos de características relevantes comparten al menos un elemento en común; para ello realiza modelos de tales características $\{a_1(x), \dots, a_s(x)\}$ y $\{a_1(y), \dots, a_s(y)\}$. Ahora bien, supongamos que x y y son sustancias químicas, respectivamente s y s' , explicamos la similaridad entre ellas si comparten un componente atómico en común, y con ello vemos que esto explica el porqué tienen un comportamiento experimental similar. Lo esencial es pues: (a) concebir a los dominios empíricos de teorías como sistemas relacionales, prestando atención a la relación estructural entre entidades (objetos materiales, eventos, procesos); y (b) Modelos teóricos de datos, esto es, concebir al conjunto $f(x)$ de propiedades de T que se adscriben a x como modelo teórico de x , sólo aclarar que T necesita un manojito de $f(x)$ para representar a s . Así: “for instance, in a fully fledged chemical theory models $f(x)$ and $f(y)$ of substances x and y are detailed structural formulas that do not only take into account what the atoms x and y consist of but also propose precise geometrical descriptions of the structure of the substances” (Mormann: 1995, 209). Es la teoría la que elige las propiedades relevantes. Puesto en términos formales:

A similarity structure (S, \sim) is a set S together with a binary relation $\sim \subseteq S \times S$ for which the following holds (for $(S, S') \in \sim$ always $s \sim s'$ is written):

- (i) \sim is reflexive, i.e. for all $s \in S$, $s \sim s$
- (ii) \sim is symmetric: for all $s, s' : s \sim s' \leftrightarrow s' \sim s$

(S, \sim) is called trivial iff $\sim \subseteq S \times S$, i.e. iff all elements are similar to each other. (1995, 211).

Es natural preguntar si dada tal estructura de similaridad (S, \sim) existe una teoría T que la represente adecuadamente y si asumimos que T es adecuada, entonces nos preguntamos si ésta es esencialmente única.

⁵⁴ Me refiero a que ni en la respuesta a Sergio Martínez y en trabajos posteriores como en (Ibarra & Mormann: 2005, 2006 y 2007).

subrogadas. Recordemos que una variable subrogada es una estrategia metodológica que nos permite con base en un elemento o subconjunto perteneciente a un conjunto mayor, llevar a cabo inferencias en él para conocer alguna característica, aspecto o estado del conjunto mayor. Luego, vemos que en la práctica científica se utilizan generalmente variables subrogadas para representar y así explicar, interpretar o predecir un sistema o fenómeno del mundo. Dicho de otro modo, la subrogación es habitual en las prácticas científicas, sobre todo las que se valen de indicadores estadísticos, dada la gran cantidad de datos, éstos sólo pueden ser estudiados vía variables subrogadas. En el caso que nos ocupa, el axolote como variable subrogada es utilizado para sintetizar esa gran cantidad de datos. Para mencionar otro ejemplo más, en genética se investigan las miles de secuencias de ADN, esto nos arroja un número muy grande de datos, lo importante es señalar que sólo un conjunto pequeño de ellos se convertirá en el resultado a defender: “por ejemplo, que tales y cuales genes están involucrados en una enfermedad o que tal o cual conjunto de genes permite dividir al ser humano en poblaciones distintas” (Arroyo: 2011a, 4). Esos genes subrogan a esas miles de cadenas de ADN para determinar si tal individuo pertenece a tal raza o si tiene riesgo de padecer una enfermedad.

Recordemos que la estrategias metodológica de utilizar variables para razonar subrogatoriamente implica que: (1) nos valemos de un elemento o subconjunto *pertenecientes* a un conjunto mayor para profundizar en el conocimiento de un estado de ese conjunto, recordemos que en el caso del axolote, éste es un elemento mínimo que pertenece y nos indica el estado de salud del ecosistema –conjunto mayor- en el que vive. (2) No podemos estudiar el conjunto mayor porque es extremadamente grande y/o *desconocemos* su cardinalidad, por ejemplo el ecosistema de la zona lacustre de Xochimilco es complejo y estudiarlo por completo significaría un gasto enorme de tiempo y recursos, por ello el axolote como variable es útil para reducir esa complejidad. (3) No nos valemos de entidades ajenas al conjunto para razonar sobre ellas y así extraer inferencias que serán trasladadas e interpretadas para el dominio bajo investigación, el axolote al ser parte importante de la cadena trófica de su ecosistema es estudiado para dar cuenta de los procesos normales o anormales que acontecen en su hábitat. (4) Utilizamos, como en el caso del axolote, entidades materiales para explicar, predecir e interpretar a un grupo de procesos o entidades materiales respecto de las cuales forma parte; esto permite

(5) desarrollar una narrativa que nos indica algunas conexiones causales entre la variable subrogada y el conjunto mayor, la contaminación y terrenos agrícolas de Xochimilco es causada por diversos contaminantes químicos tóxicos (como la gasolina) que impactan en la resiliencia del ecosistema y que nos da razones para explicar la extinción en condiciones silvestres del *Ambystoma mexicanum*. Por último, (6) la nueva información que se añade a la explicación puede cambiar ciertas conclusiones (es factible decir que esto no es el caso si se tiene de trasfondo una concepción determinista); podemos llegar a la conclusión, luego de obtener mayor información, de que en realidad la causa principal del deterioro ambiental en Xochimilco no son las sustancias químicas sino el drenado paulatino de los canales que hace que se extingan poco a poco las especies que habitan allí.

Con base en lo dicho hasta ahora, la estrategia homológica no es adecuada para tratar casos como el axolote mexicano, dado el carácter lineal en el diagrama de Hertz el cual no puede dar cuenta del aspecto no-lineal inherente a los estudios de ecosistemas en los que interactúan muchos factores. Asimismo, el caso *Ambystoma mexicanum* nos brinda una narrativa que nos ayuda a explicar la salud de su entorno, mientras que la homología necesita explicar con base en la preservación de relaciones lógicas. No vemos cómo es posible encajar en el diagrama de Hertz el caso del axolote, debido al sesgo determinista que subyace en éste, así como el hecho de que utilizamos la inferencia estadística (tasa de crecimiento poblacional, calidad promedio del agua, etc.) cuando hablamos de variable subrogadas al estudiar un ecosistema; por el contrario, en la propuesta de Ibarra y Mormann nunca se hace referencia o se utiliza un ejemplo que trate con estadística y mucho menos cómo esto encaja con su propuesta. Ahora bien, cuando se estudia al axolote en cuanto a la tasa de crecimiento poblacional los biólogos se valen de funciones exponenciales para modelar este fenómeno, y si recordamos la crítica adelantada por Sergio Martínez, este tipo de funciones no cumplen con la condición de asociatividad inherente a la propuesta homológica. Con lo cual vemos que hay que tomar mucho más en cuenta la dimensión de variables subrogadas (también se le puede llamar dimensión vicariante) en el estudio de las representaciones científicas, ya que consideramos que es fundamental en el quehacer de la ciencia actual. Por ende, sostenemos que la propuesta homológica no es muy clara para capturar esta dimensión de subrogación. Veamos, a continuación, unos aspectos más generales.

Una diferencia notable de la estrategia de variables respecto a la homología radica en que no se necesitan dominios distintos, uno sobre el cual trabajamos y otro al cual trasladamos los resultados de ese trabajo para explicarlo. Así, por ejemplo, en los casos mencionados, a lo largo del escrito, explicados por el enfoque, podemos notar que el álgebra es un dominio distinto de la geometría, los modelos numéricos son esencialmente distintos de las imágenes construidas en astrofísica, que las sustancias químicas son diferentes de la ecuación que describe sus reacciones o que el número es diferente del objeto medido. En cambio, en la estrategia de variables el dominio o entidad subrogadora pertenece al conjunto/dominio/sistema subrogado, por lo cual no es esencialmente distinto de éste.

No es necesario, entonces, que para razonar subrogatoriamente se tengan que preservar las relaciones de orden lógico entre dos sistemas esencialmente distintos. En la estrategia de variables subrogadas lo que se busca es una narrativa en la que se explique el orden causal, lógico, etc., que podemos inferir dentro del dominio bajo escrutinio, sin la necesidad de apelar a inferencias extraídas y trasladadas desde otro dominio. Asimismo, esta estrategia de variables nos permite atisbar las distintas maneras de proceder en la resolución de un problema de un campo científico a otro (por ejemplo, razonar homológicamente es más factible en el campo de las matemáticas –ejemplo de la algebrización de la geometría-; mientras que utilizar variables subrogadas es pertinente en ciertos casos de biología –como lo vimos en el caso del axolote mexicano-); esto trae consigo la consecuencia de tambalear o impactar en la idea de Ibarra y Mormann de que su propuesta captura las propiedades esenciales de la representación científica, basados en la idea de homología.

Esto no quiere decir que razonar subrogatoriamente no sea una característica esencial de la representación científica, sino que la preservación de relaciones lógicas *entre sistemas distintos* sea necesaria para representar. Lo que implica que dependiendo de la estrategia subrogatoria utilizada se producirá un tipo diferente de representación; con ello queremos darle la razón a Sergio Martínez en cuanto a que es más adecuado el estudio casuístico de la representación ciencia. Por ello, pensamos que la propuesta homológica no da cuenta de ciertos casos en el campo de la biología en los que se utilizan variables subrogadas. Dicho lo cual, es menester ocuparnos en las conclusiones generales de este escrito.

CONCLUSIONES

En este trabajo hemos trazado una ruta para profundizar en el conocimiento de las estrategias que connota razonar subrogatoriamente, las cuales tienen repercusión en la manera de entender lo que significa representación científica, puesto que dependiendo de la estrategia podemos tener, por mencionar dos casos, una representación basada en preservación estructural (isomórfica u homomórfica) o de relaciones lógicas (homológica). Con base en el enfoque homológico-performativo sostenemos que el estudio de la representación científica nos conduce al escrutinio del razonamiento subrogatorio. Asimismo, basándonos en el escrutinio de casos que involucren variables subrogadas como bioindicadores –en nuestro caso el axolote mexicano- defendemos que el modelo de representación científica propuesto por Ibarra y Mormann no es lo suficientemente adecuado para cubrir casos con variables del tipo mencionado. Al llevar a cabo lo anterior, vemos que esa propuesta nos brinda un conocimiento incompleto de lo que significa el razonamiento subrogatorio.

El uso de variables subrogadas es una estrategia metodológica que se emplea frecuentemente en la práctica científica, nosotros nos hemos ocupado de este asunto desde el campo de la biología, en específico con el caso del *Ambystoma mexicanum*. En todo caso, creemos que el estudio serio sobre representaciones en ciencia tiene que tener mucho más en cuenta el carácter subrogatorio o vicariante de este tipo de variables como una estrategia mediante la cual podemos interpretar, predecir o explicar un objeto, parcela o fenómeno del mundo.

Andoni Ibarra y Thomas Mormann tienen razón al defender que el razonamiento subrogatorio es el aspecto funcional de la representación científica, así como en hacer énfasis en el carácter interdependiente, reticular y performativo de las representaciones. En esto no sólo nosotros concordamos con ellos, también Sergio Martínez, quien es uno de sus críticos principales. Donde radican las discrepancias es en la afirmación de que la propuesta homológica capta las propiedades esenciales de la representación; sostenemos que aquélla es sólo una estrategia de subrogación, que no subsume o da cuenta por sí misma de dichas propiedades esenciales. Esto porque la propuesta tiene ciertos detalles erróneos, que vimos en el tercer capítulo, que tienen que ver tanto con la herramienta que ellos eligen para la

formalización de su enfoque (es decir, teoría matemática de categorías) como los supuestos deterministas y el carácter lineal detrás del diagrama de Hertz.

Los defensores de la homología, trasladando una idea de teoría matemática de categorías, sostienen la tesis fuerte de que las representaciones en ciencia tienen que cumplir la condición de asociatividad; lo cual no es del todo correcto porque hay casos científicos en donde se utilizan funciones de exponenciación que no son asociativas para representar un fenómeno, por ejemplo la tasa de crecimiento de una población (lo cual dijimos que se hace respecto al caso del axolote). En el fondo, la crítica al formalismo utilizado por Ibarra y Mormann creemos que se puede sintetizar en la pregunta siguiente: ¿realmente es tan útil tratar a la ciencia desde la teoría matemática de categorías, si hay casos en los que no se cumple la condición de asociatividad, que es tan importante para la noción misma de categoría?

En cuanto al problema con el diagrama de Hertz, éste nos da la idea de una cosmovisión terriblemente determinista y de carácter lineal que nos aleja de la práctica científica actual en la que, volviendo al caso del axolote y su hábitat, al momento de estudiar un ecosistema los visualizamos como una red de componentes conectados e interactuando de maneras que sólo pueden ser descritas por relaciones altamente no-lineales. No es claro, bajo la propuesta de Ibarra y Mormann, cómo puede interpretarse el diagrama de Hertz en procesos no-deterministas. De ahí que tampoco esos autores hablen de inferencias estadísticas (que conllevan la propiedad de ser no-monotónicas) ejemplificadas en el diagrama. En cambio, en muchas prácticas científicas que se valen de indicadores estadísticos (como en genética, ecología, etc.), dada la gran variedad y cantidad de datos que se obtienen experimentalmente, éstos pueden ser estudiados vía variables subrogadas. Imagínese la enorme cantidad de datos que se extraen de un ecosistema; ahora bien, el axolote subroga todas ellas al ser un bioindicador de la salud de su ambiente.

Con base en las ideas expuestas por Alfonso Arroyo, en varios de sus escritos, caracterizamos como variable subrogada a una estrategia metodológica en la que utilizamos un conjunto mínimo o entidad A para representar un conjunto mayor B, cuya cardinalidad podemos conocer o no, con la finalidad de llevar a cabo inferencias en A que nos permitan explicar, interpretar o predecir el comportamiento de B. Asimismo, resaltamos el carácter

reductor de complejidad de esta estrategia en su capacidad de agrupar procesos y entidades (muy útil para dar cuenta de procesos biológicos multifactoriales); además de su capacidad para inferir a pesar de que no se conoce la cardinalidad del conjunto mayor, también esta inferencia tiene que ser no-monotónica ya que si añadimos nueva información a las premisas de nuestro argumento explicativo podemos invalidar conclusiones previas. Esto se ve reflejado en el caso del axolote mexicano. Sobre este ejemplo presentamos las características del *ambystoma mexicanum* y de su ecosistema. De ahí, atisbamos que el fenómeno de la disminución poblacional de esta especie está íntimamente ligada a los contaminantes químicos (no tanto a otros factores como la introducción de otras especies predatorias) presentes en las aguas de los canales y que también impactan en los suelos agrícolas de la zona; de continuar con las cosas así el axolote se extinguirá provocando un fuerte golpe a la resiliencia del ecosistema de la zona lacustre de Xochimilco.

Argumentamos que una diferencia notable de la estrategia de variables respecto a la homológica radica en que no se necesitan relacionar dominios distintos para razonar subrogatoriamente, ya que se puede utilizar una entidad o subconjunto del dominio bajo investigación para extraer inferencias que permitan explicar, predecir o interpretar el compartamiento del conjunto total; por ejemplo, el axolote está inmerso como parte importante del conjunto bajo escrutinio. Esto trae consigo que para razonar subrogatoriamente no se tengan necesariamente que preservar relaciones lógicas entre dominios o sistemas esencialmente distintos o preservar relaciones estructurales. En la estrategia de variables se busca una narrativa que explique el orden causal, lógico, etc., sin tener que trasladar inferencias de un dominio a otro. Así, pues, dependiendo de la estrategia subrogatoria utilizada se producirá un tipo distinto de representación científica. El tipo de estrategia de preservación de relaciones entre dominios distintos, defendido por Ibarra y Mormann, no es adecuado para dar cuenta de casos que impliquen variables subrogadas.

- **Perspectivas**

Este trabajo es el inicio de una investigación sobre las estrategias para razonar subrogatoriamente, ya que, como se ha mostrado, es fundamental en la práctica científica contemporánea. Por delante quedan cuestiones interesantes como:

- ¿Cuál sería el vínculo entre abstracción, idealización y subrogación?
- ¿Cuáles serían las diferencias entre el razonamiento analógico y el razonamiento subrogatorio?
- Profundizar en la relación entre razonamiento subrogatorio y abducción.
- Indagar en otras estrategias de razonamiento subrogatorio, por ejemplo en el enfoque inferencial defendido por Mauricio Suárez o en el enfoque interpretacional de Gabriele Contessa.
- Estudiar prácticas científicas en otros campos de la ciencia para extraer, de haberlas, otras estrategias subrogatorias.
- Estudiar cómo esas perspectivas podrían enriquecer nuestro entendimiento de la inferencia subrogada.
- ¿Qué pasa con variables subrogadas en muchos más casos del ámbito de las matemáticas?
- Responder con base en casos de otros dominios científicos ¿por qué la homología no capta las propiedades esenciales de la representación científica?
- ¿Es posible captar esas propiedades esenciales en una teoría general de la representación científica?

Entre otras muchas más cuestiones que poco a poco se sumarán a la agenda que constituirán los puntos clave para ser tratados en trabajos futuros. Para finalizar sólo resta decir que esperamos que las ideas vertidas aquí sirvan para motivar investigaciones en torno a la dimensión subrogatoria o vicariante de la representación científica.

Referencias bibliográficas

- Aliseda, Atocha (2006), *Abductive Reasoning: Logical Investigations into Discovery and Explanation*, Netherlands: Springer.
- _____ (2011), “Abducción”, en Vega, L. y Olmos, P. (coord.), *Compendio de Lógica, Argumentación y Retórica*, Madrid: Trotta, pp. 17-22.
- Arreola, Roberto (2011). *Ajolote mexicano (Ambystoma mexicanum)*, Fichas de especies prioritarias, México: CONABIO.
- Arroyo-Santos, Alfonso (2011a), “Causalidad, epistemología y variables en la construcción genética del mestizo mexicano”, en López Beltrán C. (ed.). *Genes & Mestizos: ensayos sobre genómica y raza hoy*, México: Ficticia.
- _____ (2011b), “Metáforas como variables subrogadas, el caso de la radiación adaptativa”, XVI Congreso Internacional de Filosofía. Asociación Filosófica de México, pp. 653-670.
- Arroyo-Santos, Alfonso; Donato, Xavier (2011), “The Function of Scientific Metaphors: An example of the Creative Power of Metaphors in Biological Theories”, en Caastro SJ y Marcos A. (eds.). *Paths of creation. Creativity in Science and art*. Berna: Peter Lang International Publishers.
- Arroyo-Santos, Alfonso; Olson, Mark (2011), “Metaphors as surrogate variables. The case of adaptative radiation” [inédito].
- Ávila, Roberto (2008), “Aproximación al concepto de determinismo”, *Cuestiones de Filosofía* 10.
- Bartels, Andreas (2006). “Defending the Structural Concept of Representation”: *Theoria* 21, no. 1, pp. 7-19.
- Barwise, Jon; Shimojima, Atsushi (1995), “Surrogate Reasoning”, *Cognitive Studies: Bulletin of Japanese Cognitive Science Society* 2, pp. 1-23.

- Boesch, Brandon (2016), "Scientific Representation", *Internet Encyclopedia of Philosophy*, (citado 10 agosto de 2016). Disponible en: <http://www.iep.utm.edu/sci-repr/>
- Contessa, Gabriele (2007a), "Representing Reality: The Ontology of Scientific Models and Their Representational Function", London: London School of Economics (Tesis Doctoral).
- _____ (2007b), "Scientific Representation, Interpretation, and Surrogate Reasoning", *Philosophy of Science* 74, pp. 48-68.
- _____ (2011), "Scientific Models and Representation", en J. Saatsi and S. French (eds.). *The Continuum Companion to the Philosophy of Science*: Continuum Press, pp. 120-137.
- Contreras, Ana Victoria (2006), "Distribución potencial del *Ambystoma mexicanum*" en los canales de la zona chinampera de Xochimilco", México: UNAM (Tesis Licenciatura).
- Duhem, Pierre (1906), *La théorie physique: son objet, sa structure*, París: Vrin.
- French, Steven (2003), "A model-theoretic account of representation (or, I don't know much about art... but I know it involves isomorphism)": *Philosophy of Science* 70, pp. 1472-1483.
- Frigg, Roman (2003), "Re-representing Scientific Representation", Londres: London School of Economics (Tesis Doctoral).
- _____ (2010), "Fiction and Scientific Representation", en Roman Frigg y Matthew Hunter (eds.), *Beyond Mimesis and Nominalism: Representation in Art and Science*, Berlín y Nueva York: Springer, pp. 97-138.
- Goodman, Nelson (1968), *Languages of Art. An Approach to a Theory of Symbols*, Nueva York: The Bobbs-Merrill Company, Inc.
- Hertz, Heinrich (1956), *The Principles of Mechanics Presented in a New Form*. New York: Dover.
- Ibarra, Andoni (1999), *Pragmática y representación. Contribución a una teoría no-reductiva de la ciencia*, Bilbao: Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.

- _____ (2000), “La naturaleza vicarial de las representaciones”, en A. Ibarra y T. Mormann (eds.), *Variedades de la representación en la ciencia y la filosofía*, Barcelona: Ariel, pp. 23-40.
- _____ (2003), “Representacion(es)”, en M. Casanueva y J. Benítez, *Representación y ciencia*, México: UAM-Miguel Ángel Porrúa, 15-42.
- _____ (2005), “¿Quién constituye los objetos de la ciencia?”, en Txapartegi, E. (ed.), *La constitución de los objetos científicos*, Argentina: Brujas, pp. 29-51.
- Ibarra, Andoni; Mormann, Thomas (1992a), “Propiedades modelísticas del concepto de reducción”: *Ágora*, Vol. 11, No. 1, pp. 69-95.
- _____ (1992b), “Structural Analogies Between Mathematical and Empirical Theories”, en J. Echeverría, A. Ibarra y T. Mormann (eds.), *The Space of Mathematics*, Berlín: Walter de Gruyter, pp. 31-46.
- _____ (1994), “La Pansemántica: una falacia de la abstracción”: *Ágora*, Vol. 11, No.1, pp. 69-95.
- _____ (1997a), *Representaciones en la ciencia: De la invariancia estructural a la significatividad pragmática*, Barcelona: Ediciones del Bronce.
- _____ (1997b), “Theories as Representations”, en A. Ibarra y T. Mormann (eds.), *Representations of Scientific Rationality*, Amsterdam: Rodolpi, pp. 59-87.
- _____ (2000), “Una teoría combinatoria de las representaciones científicas”: *Crítica. Revista hispanoamericana de filosofía* 32, no. 95, México, pp. 3-45.
- _____ (2001), “El descontento de la filosofía tradicional de la ciencia con el concepto de representación. Réplica a Sergio Martínez”. *Crítica. Revista hispanoamericana de filosofía* 33, no. 99, México, pp. 97-107.

- _____ (2005), “Interactive Representations”: *Representaciones* 1, no. 1, pp. 1-20.
- _____ (2006), “Scientific Theories as Intervening Representations”: *Theoria* 21, no. 1, pp. 21-38.
- _____ (2007), “Las teorías científicas como representaciones interventivas: algunas lecciones a partir de Helmholtz, Hertz y Duhem”, en Edna Suárez (comp.), *Variedad infinita: ciencia y representación. Un enfoque histórico y filosófico*, México: Limusa-UNAM, pp. 107-128.
- Ibarra, Andoni; Larrañaga, Jon (2009), “¿De dónde vienen las poblaciones? Modelos, representación y política en Ecología de Poblaciones”, en *Actas del VI de la SOLOFICI*, Valencia (España), pp. 371-374.
- Ibarra, Andoni; Txpartegi, Ekai (2016), “Introducción. Cómo hacer mundo(s) con representaciones”, en A. Ibarra y E. Txapartegi (eds.), *Hacer mundo(s) con representaciones*, Leioa: Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, pp. 11-28.
- Ibarra, Andoni; Uribarri, Ibon (2000), “El reto del representacionalismo empirista en Kant”, en A. Ibarra y T. Mormann (eds.), *Variedades de la representación en la ciencia y la filosofía*, Barcelona: Ariel, 55-70.
- Ibarra, Andoni; Zubia, Eduardo (2009), “Las imágenes digitales en astrofísica: mediadores numéricos entre observación y teoría”, en M. Casanueva y B. Bolaños (coords.), *El giro pictórico. Epistemología de la imagen*, México: Anthropos-UAM Cuajimalpa, pp. 171-188.
- Lawvere, William; Schanuel, Stephen (2014), *Matemáticas conceptuales: una primera aproximación a categorías*, trad. de Francisco Marmolejo, México: Siglo XXI.
- Lorenzano, Pablo (2004), *Filosofía de la ciencia*, Buenos Aires: Universidad Virtual de Quilmes.
- Margenau, Henry (1935), “Methodology of Modern Physics”: *Philosophy of Science*, 2, No. 1, pp. 48-72.

- Martínez, Sergio F. (2001), “Historia y combinatoria de las representaciones científicas: comentarios a la propuesta de Ibarra y Mormann”, *Crítica. Revista hispanoamericana de filosofía* 33, no. 99, México, pp. 75–95.
- Mormann, Thomas (1995), “Incompatible Empirically Equivalent Theories: A Structural Explication”: *Synthese*, Vol. 103, No. 2, pp. 203-249.
- Mundy, Brent (1986), “On the General Theory of Meaningful Representation”, *Synthese* 67, pp. 391-437.
- Olivé, León (2003), “Representaciones, producción de conocimiento y normatividad: un enfoque naturalizado”, en L. Minhot y A. Testa (eds.), *Representación en ciencia y arte*, Córdoba (Argentina): Ed. Brujas/Univ. Nacional de Córdoba, pp. 23-56.
- _____ (2004), “Reseña de “Representación y ciencia” de Mario Casanueva y José Alberto Benítez (coord.)”, *Signos Filosóficos*, vol. VI, no. 11, pp. 161-168.
- Peirce, Charles Sanders (1974), *Collected Papers*, 2 vols. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Pérez Ransanz, Ana Rosa (2000), “La concepción semántica de las teorías y el debate sobre el realismo científico”, en A. Ibarra y T. Mormann (eds.), *Varietades de la representación en la ciencia y la filosofía*, Barcelona: Ariel, pp. 107-116.
- Pero, Francesca; Suárez Mauricio (2016), “Varieties of misrepresentation and homomorphism”, *European Journal for Philosophy of Science* 6, pp. 71-90.
- Sánchez Dorado, Julia (2012), “La ciencia representada. Trazando vínculos entre los debates filosóficos contemporáneos sobre la noción de representación científica”, México: UNAM (Tesis Maestría).
- Servín, Erika (2011), “Manual de mantenimiento en cautiverio y medicina veterinaria aplicada al Ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*) en el zoológico de Chapultepec”, México: UNAM (Tesis Licenciatura).

- Shimojima, Atsushi (1996a), “Operational Constraints in Diagrammatic Reasoning”, en G. Allwein y J. Barwise (eds.), *Logical Reasoning with Diagrams*, New York: Oxford University Press, pp. 27-48.
- _____ (1996b), “On the Efficacy of Representation”, Indiana: Indiana University (Tesis Doctoral).
- _____ (1996c), “Reasoning with Diagrams and Geometrical Constraints”, en J. Seligman and Westerstahl (eds.), *Logic, Language and Computation, Volume 1*, Stanford: CSLI Publications, pp. 527-540.
- _____ (1999a), “Constraint-Preserving Representations”, en L. S. Moss, J. Ginzburg y M. de Rijke (eds.), *Logic, Language and Computation, Volume 2*, Stanford: CSLI Publications, pp. 296-317.
- _____ (1999b), “Derivative Meaning in Graphical Representations”, *Proceedings of 1999 IEEE Symposium on Visual Languages*, pp. 212-219.
- _____ (2004), “Inferential and Expressive Capacities of Graphical Representations: Survey and Some Generalizations”, en A. Blackwell, K. Marriott y A. Shimojima (eds.), *Diagrammatic Representation and Inference: Third International Conference, Diagrams 2004, Proceedings*, Berlín: Springer: 2004, pp. 18-21.
- Shimojima; Atsushi; Barker-Plummer, Dave (2014), “The Barwise-Seligman Model of Representation Systems: a Philosophical Explication”, Melbourne: Springer, pp. 231-245..
- Suárez, Mauricio (2003), “Scientific Representation: Against Similarity and Isomorphism”. *International Studies in the Philosophy of Science* 71, pp. 225-244.
- _____ (2004), “An Inferential Conception of Scientific Representation”, *Philosophy of Science* 71, pp. 767-779.
- _____ (2015), “Deflationary Representation, Inference, and Practice”: *Studies in History and Philosophy of Science* 49, pp. 36-47.

-Suppes, Patrick (2002), *Representation and Invariance of Scientific Structures*, California: CSLI Publications.

-Swoyer, Chris (1991), “Structural Representation and Surrogate Reasoning”: *Synthese* 87, no. 3, pp. 449-508.

-Txapartegi, Ekai (2005), “Introducción. Constituir lo real”, en Txapartegi, E. (ed.), *La constitución de los objetos científicos*, Argentina: Brujas, pp. 7-28.

-van Fraassen, Bas (1996). *La imagen científica*. Traducido por Sergio F. Martínez. México: Paidós-UNAM-IIF.

-Villoro, Luis (2011), *Creer, saber, conocer*. México: Siglo XXI.

-West, G. B.; Brown, J. H. (2004). “Life’s universal scaling laws”, *Physics Today* 57, 36-42.

-West, G. B.; Brown, J. H.; Enquist, B. J. (1997). “A general model for the origin of allometric scaling laws in biology”, *Science* 276, 122-126.

-Zambrano, Luis; Ortiz, G., *et. al.* (2014), “El axolote mexicano como especie bandera de Xochimilco”, en Alberto González, *et. al.* (eds.). *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental*. San Cristóbal de las Casas: ECOSUR-INECC, pp. 421-438.

-Zambrano, Luis; Tovar Garza A., *et. al.* (2014), *Rehabilitación de la red chinampera y del hábitat de especies nativas de Xochimilco*, México: UNAM-Instituto de Biología.