



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

FACULTAD DE CIENCIAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS

**Lenguaje científico: problemas de iconicidad y significado en las representaciones de la Biología.**

**El caso de la representación del ADN**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE :

**MAESTRO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

PRESENTA

**JULIO CÉSAR HORTA GÓMEZ**

**DIRECTORA: DRA. ANA ROSA BARAHONA ECHEVERRÍA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

MÉXICO D. F., CIUDAD UNIVERSITARIA. ENERO DE 2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## **Agradecimientos**

***A mis padres Socorro y Antonio. Por los desvelos de un afecto incondicional, por esa sabiduría de una historia transcurrida, pero sobre todo, por esas cálidas manos que hacen firmes mis pasos...***

***A mi hermano Antonio y a su esposa Paty. Por esa compañía en cada instante de una vida cercana...***

***A mis sobrinos. Por esas sonrisas inocentes que endulzan las promesas del futuro...***

***A Mónica. Por el apoyo incondicional, la compañía y el cariño sincero...***

***A Ricardo, Rodrigo, Ana, Arturo y Marco. Por la amistad cultivada, por las experiencias transgresoras, y por esos momentos compartidos...***

***A los colegas del Círculo de Xochimilco. Por su complicidad en la búsqueda del camino incierto...***

***Agradezco a los profesores Mauricio Beuchot, Ambrosio Velasco, Erica Torrens, y Alfonso Arroyo, por todos sus comentarios que ayudaron a mejorar este trabajo. Y en especial, agradezco a la profesora Ana Barahona, por la confianza y apoyo en la realización de esta investigación.***

***Agradezco a la institución CONACyT, por el apoyo económico brindado para la realización efectiva de esta investigación.***

***Y EN ESPECIAL, a todas las personas que alentaron mi formación, su presencia anónima son las raíces del fruto cotidiano...***

**Dedicado *in memoriam*. Tu recuerdo es el fuego  
que alimenta al viajero por el camino que siempre  
señala tu rostro...**

**Para mi *Alma Máter*. Esperando ser partícipe de los más altos ideales  
que forjaron la Institución Universitaria...**

**PERO SOBRE TODO... dedico cada esfuerzo a ese sueño borrasco,  
motivación inquieta de una idea distante...**

***“La finalidad de la ciencia, y su valor, son los mismos  
que los de cualquier otra rama del conocimiento humano.  
Ninguna de ellas por sí sola tiene finalidad y valor.  
Sólo las tienen todas a la vez...”***

**Erwin Schrödinger (Ciencia y Humanismo)**

***“Hay, sin duda, productos de la imaginación sin  
valor para la ciencia; más imaginación artística,  
más sueño de oportunidades de ganar.  
La imaginación científica sueña en explicaciones y leyes.”***

**Charles Sanders Peirce (Collected Papers)**

***“Nadie intenta establecer una ciencia sin basarse  
en una idea. Mientras se elabora esa ciencia, raras veces  
coincide su esquema... con la idea; ya que ésta se halla  
oculta en la razón como un germen en el que todas las partes  
están todavía en embrión, apenas reconocibles a la observación  
microscópica...”***

**Immanuel Kant (Crítica de la Razón Pura)**

## ÍNDICE

<i>INTRODUCCIÓN</i>	8
 <i>CAPÍTULO 1. PROCESOS HISTÓRICOS Y DISCIPLINARES: HACIA UNA REPRESENTACIÓN DEL ADN.</i>	
1.1 Condiciones históricas del nacimiento de la Biología Molecular	18
1.2 Influencias teóricas en la estructura del ADN	23
1.3 Los modelos: representaciones moleculares y funciones espaciales	34
1.4 Estructura del modelo ADN Watson/Crick	39
 <i>CAPÍTULO 2. ANÁLISIS SEMIÓTICO, METÁFORAS Y PROBLEMAS DE SENTIDO</i>	
2.1 Semiótica Pragmática	
2.1.1 Esbozo de la teoría semiótica de Ch. S. Peirce	44
2.1.2 Relaciones icónicas, indexicales y simbólicas	53
2.1.3 Íconos y metáforas: relaciones de semejanza	57
2.2 Modelos y Metáforas	
2.2.1 Funciones de representación	60
2.2.2 Funciones epistemológicas	64
2.3 Análisis semiótico de la representación del ADN	
2.3.1 Introducción: manufactura semiótica de una entidad no observable	68
2.3.2 Configuración visual del ADN y su función indexical	74
2.3.3 Relaciones icónico-diagramáticas	81
2.3.4 Derivaciones simbólicas y funciones metafóricas	89
2.4 Problemas de iconicidad y sentido	100
2.4.1 Semiosis hermética y “connotación cancerosa” en el ADN	101

*CAPÍTULO 3. FILOSOFÍA DE LA CIENCIA Y REPRESENTACIÓN: PROBLEMAS DE REALISMO Y ENTIDADES TEÓRICAS*

3.1 Realismo interno y representaciones científicas	107
3.1.1 Solución al problema de la referencia: ¿existe la entidad ADN?	113
3.2 El ADN una noción metafísica	118
3.2.1 Pluralismo teórico y el desarrollo del conocimiento científico	122
CONCLUSIONES	126
BIBLIOGRAFÍA	131

## **Introducción**

En términos generales, la cuestión del contenido de las representaciones científicas nos lleva a considerar de manera problemática la existencia de los objetos representados; o bien la necesidad de significar dentro de un lenguaje dicha existencia. En todo caso, a nivel formal este problema implica considerar la analogía como una operación cognoscitiva necesaria para determinar la configuración de una entidad dentro de una representación.

La existencia de entidades tales como el ADN (ácido desoxirribonucleico) nos obliga a considerar problemas epistemológicos que se circunscriben a la discusión en torno a la posibilidad de un “realismo de entidades”, frente a una postura “nominalista” de la teoría. En esta discusión, sintetizada por Ian Hacking<sup>6</sup>, se busca establecer la naturaleza de las representaciones de un determinado conocimiento científico: en donde, por un lado, se apuesta por un realismo de las entidades dispuestas por la teoría, y su existencia se justifica en razón de la evidente “manipulación” e “intervención” empírica del científico sobre dichas entidades; por otro, se sostiene que las entidades teóricas sólo forman parte de un lenguaje científico (o bien, metalenguaje), y sólo tienen existencia dentro del conjunto mismo de representaciones que componen la estructura de dicho lenguaje.

Pero la cuestión va más allá de esta discusión. Cuando a través de ciertos artefactos, instrumentos y procedimientos técnicos se construyen representaciones científicas que a su vez configuran el carácter visual de una entidad —de la cual se asume su existencia—, entonces surge la pregunta acerca del estatus ontológico de las entidades teóricas. Este planteamiento, desarrollado por Grover Maxwell<sup>7</sup>, demuestra que no hay una separación determinante entre

---

<sup>6</sup> Cfr. Hacking, Ian. *Representar e Intervenir*. México: UNAM/Paidós, 1996.

<sup>7</sup> Cfr. Maxwell, G. “El estatus ontológico de las entidades teóricas”. En Pérez Ransanz, Ana y Olivé, León (compiladores). *Filosofía de la Ciencia: Teoría y Observación*. 2ª reimpresión. México: Siglo XXI/Instituto de Investigaciones Filosóficas/UNAM, 2010. pp. 116 y ss.

teoría y observación y, como consecuencia, hay una cierta continuidad ontológica entre entidades observables e inobservables. La demarcación entre estos dos ámbitos resulta arbitraria y sólo nos muestra el estado actual del conocimiento científico, pero no dice algo acerca de la existencia de las entidades que se están estudiando. En este contexto, la hipótesis es clara: eliminar los términos teóricos no conlleva a eliminar la existencia de entidades inobservables; por ello, si las teorías tienen éxito explicativo es porque, al final, las entidades a las que se refieren existen.

Atendiendo a estas consideraciones, resulta importante decir que el presente trabajo se circunscribe a aquella discusión filosófica, al tiempo que también toma una considerable distancia. En principio, la presente investigación no busca negar (o en su defecto afirmar) la existencia empírica de una entidad denominada ADN. En todo caso, el objetivo de este trabajo es mostrar el funcionamiento semiótico de la representación de la molécula propuesta por James Watson y Francis Crick; para posteriormente analizar los problemas filosóficos derivados del proceso de representación de esta entidad no observable, de la cual a mediados del siglo XX no se tenía evidencia empírica suficiente para determinar sus cualidades formales.

Si bien el modelo de Watson y Crick fue un parte aguas en los estudios biológicos, y así mismo un fundamento para la Biología Molecular; sin embargo, dentro del análisis de este modelo se puede considerar que un problema a nivel de filosofía de la ciencia consiste en proponer *a priori* las propiedades estructurales orgánicas de una entidad teórica de carácter abstracto. Esta cuestión obliga a los investigadores tanto de la Escuela Informacional como de la Escuela Estructuralista, a buscar y plantear esquemas de representación que den cuenta de la configuración visual de las entidades y unidades moleculares.

El proceso de formación de la representación del ADN nos lleva a considerar problemas a diferentes niveles desde lo epistemológico hasta lo semiótico. Problemas que surgen, específicamente, por el contexto histórico y social a través del cual surge la Biología Molecular y su necesidad de justificar su

carácter científico a través de los métodos de la física, la química y las matemáticas.

Ahora bien, a nivel del estudio de las representaciones, el presente tema nos lleva a considerar los criterios científicos a través de los cuales se determinaron las formas y funciones que constituyeron la estructura del ADN para 1953; así como la eliminación de elementos “no esenciales” en el funcionamiento estructural de dicha representación. En este punto, es necesario considerar las posturas teóricas, conceptos y categorías que, a la manera de Feyerabend, procedieron de manera “metafísica” para establecer *a priori* una configuración visual que permitiera fundamentar inferencias hipotéticas acerca del funcionamiento del ADN.

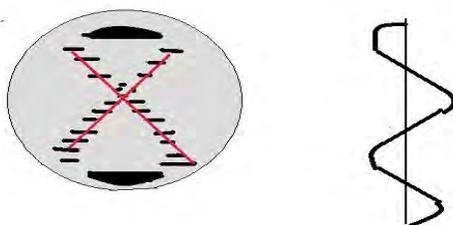
En esta dirección, a nivel epistemológico, la representación visual de la estructura de doble hélice supone un realismo acerca de los atributos naturales y funciones de la entidad ADN. Empero, la transformación de lo natural hacia lo representacional implica un proceso de abstracción. Por ello, la representación teórica de una entidad es al mismo tiempo descubrimiento y posesión, resultado del desarrollo en la manufactura de representaciones visuales por medio de artefactos e instrumentos. Finalmente, la representación visual permite simplificar la complejidad de la naturaleza en tanto logra hacer a los objetos inteligibles y, desde ahí, a la manera de Hacking, los hace susceptibles de ser manejados e intervenidos.

En virtud de lo anterior, esta investigación en filosofía de la ciencia se fundamenta en la siguiente hipótesis: tomando como supuesto el carácter análogo de sus elementos constitutivos, la representación visual de la estructura helicoidal del ADN (propuesta por Watson y Crick en 1953) no alude a una entidad “real” de carácter experienciable; sino que su existencia como entidad está justificada dentro de una estructura de lenguaje teórico, en la cual se establecen relaciones simbólicas que sostienen su carácter epistemológico y ontológico en razón de un “realismo interno”. Tomando esto en consideración, esta indagación tiene como objetivo mostrar el carácter problemático (iconicidad vs símbolo) de las

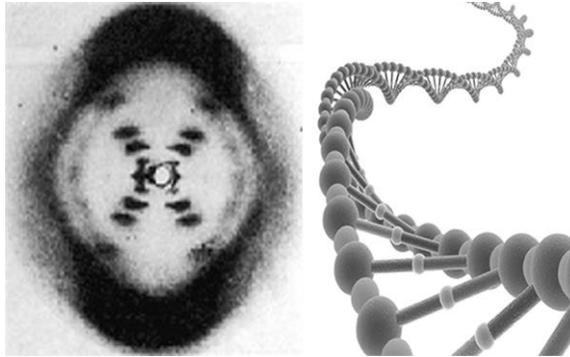
representaciones del ADN, y su consecuente justificación epistemológica a partir de los rasgos formales que permiten determinar la existencia del ADN desde un “realismo interno”.

Para desarrollar de manera efectiva este objetivo, la primera parte de este trabajo considera más pertinente el estudio fenomenológico a partir de la semiótica; pues el carácter nominalista de la fenomenología semiótica permite analizar el problema epistemológico de la representación sin considerar su correlación con la evidencia empírica —pues la correlación con la evidencia empírica nos regresaría al realismo de entidades, donde se parte del supuesto que la entidad abstracta existe de manera empírica y que, por tanto, es necesario buscar su evidencia como contenido. En otras palabras, con base en un estudio semiótico se considerará la representación del ADN como entidad construida y articulada de manera teórica y, con base en esto, se analizará el funcionamiento semiótico de sus componentes y relaciones estructurales al interior de la representación misma.

En términos visuales, este estudio semiótico-filosófico sobre la representación del ADN busca dar cuenta de la correlación y transformación entre estas dos representaciones, su configuración espacial y sus correlaciones formales...



O, para mostrar una elocuencia más dramática, busca dar cuenta del paso de una forma icónica (relaciones de semejanza con el objeto representado) a una simbólica (relaciones determinadas por convención dentro de una comunidad)...



Así pues frente a los problemas del realismo, la postura semiótico-pragmática en Ch. S. Peirce permite considerar la función significativa de la representación partiendo de que los principios y analogías teóricas se plantean *a priori* y, si bien es importante constatarlas *a posteriori*, empero son estos planteamientos *a priori* la guía necesaria para el desarrollo posterior del conocimiento. Por ello, el análisis semiótico mostrará qué elementos se articulan para el funcionamiento metafórico del modelo de ADN, y en consecuencia cómo el modelo permite por medio de la intuición y la “abducción”<sup>8</sup> el establecimiento de inferencias hipotéticas acerca del funcionamiento bioquímico del ADN.

De los diferentes problemas semióticos implicados en la representación científica podemos decir, en síntesis, que el problema consiste en considerar si a) la representación del ADN implica relaciones de “iconicidad”, desde donde se justificaría un realismo de entidades; o bien b) si alude más bien a una relación “simbólica”, constituida por un pluralismo teórico, por convenciones y estrategias retóricas. Luego, un asunto a investigar consiste en determinar las funciones semióticas de la representación del ADN, que permiten configurar el carácter espacial y tridimensional de una entidad que empíricamente es no espacial. Por último, en términos de la semiótica peirciana, el problema fundamental es el paso del icono al símbolo en la significación del ADN, en donde se cuestiona la validez de dos niveles de sentido:

---

<sup>8</sup> La noción “abducción” se abordará más adelante en el capítulo 2. Por el momento, y para contextualizar la afirmación, baste decir que la abducción es el tercer tipo de razonamiento que plantea Peirce, diferente de la inducción y la deducción, a través del cual la ciencia procede a establecer explicaciones de manera hipotética.

- Representaciones espaciales para representar entidades espaciales (relaciones icónicas de semejanza con el objeto representado)
- Representaciones espaciales para representar entidades no espaciales (relaciones convencionales-simbólicas que no implican semejanza con el objeto representado)

A partir de este estudio semiótico-pragmático se podrán encontrar las relaciones formales necesarias, los elementos y su funcionamiento para establecer —en un segundo momento de la investigación— la justificación epistemológica de la representación del ADN a partir de un “realismo interno”, planteado a la manera de Putnam. En esta dirección, se establecerá una reflexión filosófica acerca de los elementos simbólicos que constituyen la representación del ADN, para determinar el carácter ontológico y epistemológico de la representación al interior de un esquema conceptual de pensamiento.

Así, de acuerdo con Putnam, la postura internalista del realismo sostiene que los objetos no existen de manera independiente de los esquemas conceptuales: es decir, no se afirma su inexistencia, sino más bien que existen pero no en un determinado tipo de relación. Los objetos y signos son internos al esquema conceptual, y desde ahí es posible establecer relaciones que permitan decir “qué corresponde con qué”. En este sentido, es una posición realista pero sin dicotomías, pues ya no tiene como cimiento el criterio de verdad por correspondencia que deriva en determinaciones dicotómicas de verdad/falsedad; sino que más bien tiene como fundamento el criterio de coherencia y “asertabilidad racional”, con lo cual afirma que la base para la referencia es el propio esquema conceptual, y sólo tienen validez las referencias coherentes dentro de este esquema.

El esquema conceptual deriva en estructuras de lenguaje dentro de las cuales se posibilita la clasificación de los objetos, pues los objetos y sus atributos dependen de la “elección” dentro de un esquema conceptual y, en este sentido,

las maneras de hablar dentro de un esquema conceptual permiten hacer distinciones entre objetos. De ahí que resulta un sinsentido decir que los hechos y objetos existen de manera independiente a un esquema conceptual; desde un realismo interno se puede afirmar sin duda que hay hechos externos, y se puede decir desde un esquema conceptual cuáles son. Sin embargo, desde este realismo sólo son posibles las inferencias, no las descripciones, pues los esquemas conceptuales sólo permiten acercarse a una determinada manera del mundo, pero no afirman lo que es el mundo en general.

Finalmente, de manera complementaria a esta reflexión derivada de la postura pragmática de Putnam, en la última parte del trabajo se hará una crítica filosófica en torno al necesario carácter metafísico de las representaciones científicas dentro de sus procesos de conformación. El caso del ADN servirá para sostener y ejemplificar, además, las reflexiones de Feyerabend en relación con el carácter social de la especulación científica, los criterios convencionales para la toma de decisiones en la construcción de una representación, así como la necesaria pluralidad e inconmensurabilidad de teorías como fundamentos en la construcción de una representación científica.

Para dar cuenta del objetivo de esta indagación y cubrir episódicamente los intereses epistemológicos que constituyen este trabajo, en el Capítulo I se buscará delimitar el objeto de estudio, a saber, la representación del ADN. Esta delimitación se realizará en dos direcciones: por un lado, reconstruyendo el contexto histórico y disciplinar que influyó en el planteamiento de la representación propuesta de Francis Crick y James Watson; y por otro, haciendo una revisión sintética de los postulados teóricos que conformaron dicha representación<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Antes bien, hay que reconocer que, aún cuando hay diferentes modos de representar la molécula de ADN, mismos que se han desarrollado a lo largo de la segunda mitad del siglo XX y principios del XXI, este trabajo sólo se circunscribirá a la representación originaria propuesta por Watson y Crick, y por la cual se hicieron acreedores al Premio Nobel de Fisiología en 1962.

Delimitado el objeto, en el Capítulo II se realizará el análisis semiótico enfocado principalmente por la teoría semiótico-pragmática de Ch. S. Peirce. En este apartado se buscará Identificar los rasgos de iconicidad, indexicales y simbolización dentro de la representación molecular del ADN y, a partir de ahí, se analizará la función metafórica del modelo. Esta función metafórica, como relación de semejanza a partir de Peirce y M. Black, será el punto central del análisis para identificar los problemas semióticos implicados en los procesos de significación e interpretación de un modelo científico.

Identificados estos problemas de interpretación, el análisis semiótico se complementará con un análisis filosófico que versará sobre la relación problemática entre realismo, entidad teórica y representación. Por ello, en el Capítulo III se referirán las nociones filosóficas tanto de Putnam como de Feyerabend, para circunscribir la reflexión ontológica y epistemológica a los planteamientos de la filosofía de la ciencia.

Las conclusiones tratarán de fundamentar una postura propia acerca de los problemas semiótico-filosóficos evidenciados en este trabajo, en la idea de poder plantear soluciones teóricas que permitan reconsiderar el carácter interpretativo de las representaciones científicas y, asimismo, replantear el status ontológico de las entidades representadas. En todo caso, la reflexión principal de este trabajo busca en principio ser una caracterización concreta de algunos problemas circunscritos por la filosofía de la ciencia; pero, además, busca mostrar una metodología semiótico-filosófica poco utilizada para la comprensión de problemas filosóficos en representaciones científicas.

Finalmente, sólo resta decir que el presente estudio se justifica dentro del área de estudios filosóficos y sociales, cuya línea de investigación implica dar cuenta de problemas que le son propios a la filosofía del lenguaje y la semiótica, por un lado; pero por otro, esto nos obliga a determinar el carácter social del estudio de esta naturaleza. Al respecto, nos apegamos a las nociones expuestas por el semiólogo y filósofo analítico Juan Ángel Magariños, en el sentido de considerar lo “social” como “la representación/interpretación, actual o histórica,

vigente en determinada comunidad... (donde) la calidad de social no proviene por tanto de un determinado ámbito de emergencia de un fenómeno, sino de determinada operación que lo genera ( en cuanto modo de aparición y de apariencia)”<sup>10</sup>.

En este sentido, una representación es la identificación “perceptual” (ya sea sensorial o imaginaria) de determinadas formas y su específica interrelación, las cuales pertenecen a un determinado fenómeno, en función de su interpretación posible en un determinado momento en una determinada sociedad, en donde la interpretación alude a una asignación conceptual que implica la alusión a un fenómeno y a su determinación dentro de una sociedad en específico.

---

<sup>10</sup> Magariños, Juan. *Los fundamentos lógicos de la semiótica y su práctica*. Buenos Aires: EDICIAL, 1996, p. 251.

## **CAPÍTULO 1. PROCESOS HISTÓRICOS Y DISCIPLINARES: HACIA UNA REPRESENTACIÓN DEL ADN.**

Una revisión a los procesos históricos y epistemológicos que cimientan la representación de la estructura en la molécula de ADN tiene como finalidad delimitar, precisamente, las referencias teóricas que influyeron en la configuración de una representación científica. Pero no sólo eso, sino que busca establecer el contexto necesario —otra vez, histórico y epistemológico— que permita anclar el sentido e interpretación de la representación. Así pues, para evitar el problema de las múltiples interpretaciones aceptables y posibles acerca de la estructura del ADN, este contexto funcionará como un código de referencia a través del cual se determinarán sólo algunos de sus rasgos significativos.

Esta revisión se concentra específicamente en las contribuciones hechas por la física y química, y no tanto en los experimentos propiamente biológicos: pues se parte del supuesto que las relaciones significantes en la configuración visual de la representación del ADN obedecen más a procesos semióticos implicados en los conceptos y categorías físico-químicas. Este criterio no desestima los avances hechos por la biología, pero si toma en consideración las tendencias teóricas que tanto Watson como Crick reconocen como influencias determinantes en la construcción de la representación visual del ADN.

En razón de esto último, este capítulo<sup>11</sup> tiene también el objetivo de encaminar el posterior análisis semiótico, tratando con ello sustentar los resultados del análisis e interpretación de una representación desde sus propios fundamentos teóricos e históricos.

---

<sup>11</sup> Las fuentes de información acerca de la historia de la biología, las teorías físicas y químicas y su influencia en la biología molecular, se pueden consultar en los siguientes textos: Barahona Echeverría, Ana. *Genética: la continuidad de la vida*. México: FCE, 2000 y (del mismo autor) *El siglo de los Genes: patrones de explicación genética*. España: Alianza, 2009; Brown, Theodore. *Making Truth. Metaphor in Science*. Estados Unidos: University of Illinois Press, 2003; Kevles, Daniel y Hood, Leroy (editors). *Scientific and social issues in the Human Genome Project*. 1a edición. Estados Unidos: Harvard University Press, 1993; González Ibeas, J. *Introducción a la Física y la Biofísica*. Madrid: Alambra, 1974; Stephenson, W. *Introducción a la Bioquímica*. Trad. Oscar Abundis. México: Limusa, 1991.

## **1.1 Condiciones históricas en el nacimiento de la Biología Molecular**

La determinación de la molécula del ADN como representación en el conocimiento científico nos lleva a considerar el ámbito histórico con el cuál surge la Biología Molecular, como antecedente necesario que nos permita vislumbrar las tendencias científicas que influyeron en la conformación de la estructura constitutiva de esta entidad. Para ello en este trabajo se considera, como supuesto inicial, que el proceso de formación de la representación estructural en la molécula del ADN está estrechamente vinculado con la influencia que la Física y la Química tuvieron sobre la naciente Biología.

De acuerdo con Suárez y Barahona, la preocupación de la Biología del siglo XIX consistía en dar cuenta de la “forma, las funciones y transformaciones de los seres vivos... y sus investigaciones y desarrollos teóricos sentaron las bases de una gran parte de la biología moderna.”<sup>12</sup> Sin embargo, durante el desarrollo del siglo XX, la tendencia de los estudios biológicos cambió por efecto de los adelantos de la Física y la Química: así pues, los estudios en biología buscaron establecer los criterios de “cientificidad empírica” y “cuantificación rigurosa” de acuerdo con los parámetros establecidos por otras disciplinas.

En este proceso de transformación, el camino de la Biología cambia hacia una clara inclinación “fiscalista”, dentro de la cual busca adaptar los modelos provenientes de la Física y la Química y, en esta dirección, la Biología Fiscalista se constituye históricamente en la condición necesaria para el posterior desarrollo de la Biología Molecular. Por supuesto, en este proceso de adaptación se generan diversos modelos y conceptos que buscan dar cuenta del objeto de estudio de la Biología (materia viva) desde los principios teóricos de otras ciencias. Específicamente en el caso de la Física, se encuentran casos como el “principio de incertidumbre” donde se busca establecer que el campo atómico es análogo al

---

<sup>12</sup> Suarez, Edna y Barahona, Ana. “Física y Biología en el nacimiento de la Biología Molecular: la determinación de la estructura del ADN.” En revista LLULL. Vol. 15, México: Facultad de Ciencias, 1992. P. 396.

campo de lo vivo: pues se asumía que al igual que en el campo atómico, no se podía estudiar algo sin alterarlo.

El nacimiento y desarrollo de la Física Cuántica a principios del siglo XX — también denominada Mecánica Cuántica— reorientaría el conocimiento científico de todas las áreas hacia un claro interés por los estudios microscópicos. Esta última rama de la Física se encargaría de estudiar los fenómenos físicos a escalas microscópicas: pues en principio busca dar cuenta de aquellos fenómenos de partículas que la “ley de la gravitación universal” y la “teoría electromagnética” no podían explicar. A partir de ahí, el interés científico se enfocaría en dar cuenta de la descripción matemática y estadística del movimiento, sus circunstancias y estructura de las partículas atómicas.

Los estudios de radiación térmica realizados por Max Planck y las investigaciones de Albert Einstein acerca de los fotones como partículas de energía independiente (los cuales posteriormente constituirían su “teoría del efecto fotoeléctrico”), consolidarían la Física Cuántica como una disciplina capaz de proporcionar un conocimiento nuevo acerca del universo y revolucionar con ello el sentido de la ciencia. No sólo algunas nociones como “incertidumbre” o “cuantización” fueron introducidas en el campo científico; sino que además esta rama teórica introdujo una serie de hechos contraintuitivos que no podían ser entendidos desde los paradigmas anteriores de la Física<sup>13</sup>.

Así pues, el estudio del mundo atómico implicaría el establecimiento de nuevos paradigmas teóricos que pudieran dar cuenta de hechos para los cuales no se tiene evidencia empírica. En palabras del filósofo de la ciencia, Paul

---

<sup>13</sup> Por ejemplo: la mecánica cuántica parte del supuesto de considerar que es imposible fijar a un mismo tiempo la posición y momento de una partícula; en consecuencia se estaría renunciando al concepto de “trayectoria”, el cual es un término nodal en la mecánica clásica. En cambio, desde un punto de vista cuántico, el movimiento de una partícula se puede explicar en términos de una “función matemática” que determine la probabilidad de que una partícula se halle en cada punto del espacio y en cada momento (función de ondas). Cfr. González Ibeas, J. *Introducción a la Física y la Biofísica*. Madrid: Alambra, 1974.

Feyerabend, la teoría cuántica es la teoría científica mejor desarrollada que se tiene y, paradójicamente, no se sustenta en evidencias y hechos de la experiencia.

Siguiendo las tendencias y propuestas de la teoría cuántica, investigadores como Max Delbrück, discípulo de Niels Bohr, sentarían las bases para considerar metodológicamente la pertinencia del estudio de lo biológico sustentado en la científicidad rigurosa de las ciencias físicas. De ahí que, para este investigador alemán la estabilidad de las moléculas sólo puede ser comprendida en términos cuánticos, donde asume por analogía que los cambios discretos en un átomo de un gen son similares a la mutación, y ocurren por una alteración de energía.

Otro físico que influiría en los estudios de la Biología Molecular sería Erwin Schrödinger. Basado en los estudios de termodinámica, en su texto "*¿Qué es la vida?*", trataría de mostrar que las funciones biológicas que constituyen la vida no se oponen a las leyes de la termodinámica. Por el contrario, que los organismos y sistemas biológicos amplían su complejidad y evolucionan a la manera de un "estado de equilibrio" termodinámico, en donde el desarrollo y equilibrio de un sistema se caracteriza porque todas las propiedades quedan determinadas por factores intrínsecos. Esto llevó a considerar pertinente que la vida se definiera en términos de almacenamiento y transmisión de información biológica; la cual se encontraba condensada en los que el mismo Schrödinger denominaba "mensaje cifrado hereditario".

En términos generales, la influencia de la Física en la Biología edificó el camino de dos escuelas, cuya inclinación hacia el "fiscalismo" era común, pero desde diferentes planteamientos teórico-metodológicos. Por un lado, estaba la "escuela informacional", cuya tendencia estaba determinada por la Física Cuántica, aunque más cerca a sus principios y métodos más que a sus conceptos; por otro, la escuela estructuralista, que se encontraba un poco más influenciada por los conceptos de aquella rama de la Física del siglo XX.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> División de la Biología propuesta por Gunther Stent, citado en: Suárez, Edna y Barahona, Ana, Ob. Cit. p. 397.

La escuela estructural no sólo se nutrió de los recientes aportes físicos, sino que además tuvo una fuerte influencia de los aportes de la Química estructural y la Esteroquímica. El planteamiento de la escuela estructural partía de dos premisas importantes: primero, que las biomoléculas y sus componentes están organizados a la manera de una estructura; y segundo, que esta estructura está estrechamente relacionada con su función. De modo que la estructura contiene la información acerca de las funciones propias de las moléculas.

En el desarrollo posterior, y bajo la creciente necesidad de presentar una evidencia empírica acerca de la estructura física del ADN, los avances científicos en torno a la teoría de la cristalografía helicoidal y la invención del microscopio electrónico, así como los diversos estudios en bacterias y fagos, posibilitaron la determinación de un cuerpo ecléctico que constituiría el cimiento teórico y experimental que demostraría la estructura molecular del ADN. Un punto determinante para edificar la representación de la “doble hélice” en el ADN fueron las fotografías de rayos X tomadas por Maurice Wilkins y Rosalind Franklin —en las cuales se presentaba un perfil helicoidal— y, específicamente, la forma B de las fotografías tomadas en 1952.

La evidencia fotográfica obtenida por Franklin no haría más que corroborar en cierto sentido las hipótesis científicas de Linus Pauling en relación con la estructura  $\alpha$ -hélice de las proteínas. Sus estudios en cristalografía y cálculos atómico-cuánticos permitieron avanzar en la investigación de las moléculas tanto en su estructura física como en su constitución química. Además, basado en su conocimiento de enlaces covalentes, los puentes de hidrógeno y el funcionamiento de las fuerzas de Van der Waals, logró calcular diversos datos en relación con las distancias interatómicas y los ángulos de enlace dentro de la molécula.

Ahora bien, una condición histórica que es importante destacar por su influencia teórica en la construcción de la representación del ADN es la influencia de la química orgánica y estructural. En este sentido, los estudios de A. Kekulé acerca de las condiciones de valencia entre átomos permitieron establecer los fundamentos de una teoría de la estructura química. Sustentado en sus análisis

sobre el benceno, logró determinar el modo en que los átomos de compuestos químicos pueden formar enlaces fijos.

A partir de ahí, junto con A. S. Couper, planteó una estructura plana (bidimensional) que representara los enlaces atómicos y determinara la posición espacial de los átomos. Con ello Kekulé logró mostrar visualmente a partir de “anillos simétricos” la distribución atómica y el funcionamiento peculiar que constituye a algunos isómeros.

Por su parte, Joseph A. LeBel y Jacobius H. van't Hoff edificaron los fundamentos para una teoría estereoquímica. Partiendo de la teoría estructural, y analizando diferentes grupos de carbón, propusieron la forma de un tetraedro como la forma básica de organización espacial en tres dimensiones para una molécula cuyo centro está compuesto de carbón. Esta forma de representar la estructura de una molécula les permitió plantear la asimetría estructural como una propiedad molecular. Con sus estudios particulares, iniciaron el campo de la estereoquímica y, con ello, introdujeron los principios de la geometría en el estudio y análisis de las moléculas<sup>15</sup>.

Hasta aquí, se han mostrado a grandes rasgos algunos de los caminos disciplinares que contribuyeron en la consolidación de la Biología Molecular y que, de alguna manera, influyeron *a priori* en la determinación y representación de la estructura del ADN. El objetivo no era agotar ni profundizar sobre las diferentes teorías, sino tan sólo evidenciar los fundamentos teóricos que posibilitaron la representación específica de la estructura del ADN propuesta por Watson y Crick.

Finalmente, esta revisión nos permite observar cómo el proceso de conocimiento, enfocado hacia la construcción de una representación científica, resulta de una síntesis de diversos momentos históricos, disciplinas, evidencias,

---

<sup>15</sup> Para confrontar la información sobre la relación entre biología molecular, física, química orgánica y estructural, revisar: Barahona, Ana. *Genética: la continuidad de la vida*. México: FCE, 2000; Ceccarelli, Leah. *Shaping Science with Rhetoric*. Estados Unidos: University of Chicago Press, 2001; Brown, Theodore. *Making Truth. Metaphor in Science*. Estados Unidos: University of Illinois Press, 2003; y Stephenson, W. *Introducción a la Bioquímica*. Trad. Oscar Abundis. México: Limusa, 1991.

postulados teóricos y desarrollos tecnológicos. Síntesis que, en todo caso, no sólo afirma el “pluralismo teórico” como una condición histórica necesaria para la conformación de un conocimiento, sino que además nos muestra que esta relación interdisciplinaria surge y se desarrolla a partir de analogías teóricas que permiten conformar una unidad de lenguaje científico.

## ***1.2 Influencias teóricas en la estructura del ADN***

Una vez revisadas de manera general las condiciones históricas que influyeron en la constitución de la Biología Molecular, resulta ahora necesario considerar algunas teorías científicas que, en concreto, intervinieron en la delimitación representacional de la estructura del ADN. A fin de cuentas, esta revisión pormenorizada busca, al igual que el apartado anterior, construir el contexto teórico y conceptual que influyó en la configuración de la estructura de las macromoléculas.

En virtud de lo anterior, es necesario reiterar que esta revisión se concentra específicamente en las contribuciones hechas por la física y química, y no tanto en los experimentos propiamente biológicos: pues se parte del supuesto que las relaciones significantes en la configuración visual de la representación del ADN obedecen más a procesos semióticos implicados en los conceptos y categorías físico-químicas.

### *Teorías físicas y distribución espacial de partículas*

Como se mencionó en el apartado anterior, una gran influencia para la biología molecular fueron las aportaciones de la física cuántica. Los nuevos parámetros de estudio de esta naciente disciplina enfocarían el interés científico en dar cuenta de la distribución espacial en la estructura de las partículas atómicas.

Un avance importante para la comprensión de las relaciones atómicas fue el modelo propuesto por Erwin Schrödinger en 1926. Este planteamiento atómico no sólo mostró la presencia de “subniveles de energía” en átomos con la misma carga energética —lo cual no podía demostrarse con el modelo de N. Bohr—, sino que además replanteó la noción de “electrón”, lo cual permitiría construir una representación espacial atómica. En este sentido, “una diferencia en los dos modelos es que, mientras que en el átomo de Bohr es considerado el electrón como una partícula que se mueve en una órbita circular, en el modelo Schrödinger el electrón es una onda distribuida en el espacio de una determinada manera”.<sup>16</sup>

Basado en los principios de la “mecánica ondulatoria”, este modelo propone una nueva estructura atómica, con la cual se puede explicar la estructura electrónica de un átomo y su interacción con las estructuras de otros. El fundamento de esta explicación está en razón de la “ecuación Schrödinger”, que permite calcular un potencial electrostático con “simetría esférica”. Esta ecuación considera al electrón como una “onda de materia” y en este sentido calcula la evolución en tiempo y espacio de la onda material. Con este fundamento, el modelo de Schrödinger adquiere fuerza predictiva en su adecuación empírica: no sólo logra predecir adecuadamente los cambios en los niveles energéticos por efecto de la interacción con algún campo magnético; sino que además puede dar cuenta de las líneas de emisión espectral en átomos ionizados y neutros. En cierto sentido, este modelo incluso puede llegar a explicar los enlaces químicos que producen estabilidad en las moléculas.

Puesto que la distribución de carga energética en este modelo se puede calcular a partir de la teoría de distribución clásica y en correspondencia con los principios de la mecánica ondulatoria, esta estructura atómica permitió posteriormente considerar espacialmente al átomo como un núcleo, rodeado por una nube de carga eléctrica negativa. Como consecuencia de estas derivaciones teórico-matemáticas, se modificó el modelo atómico propuesto por Bohr, donde se

---

<sup>16</sup> Brown, Theodore. *Making Truth. Metaphor in Science*. Estados Unidos: University of Illinois Press, 2003. p. 90.

sostenía que los átomos giraban en órbitas circulares, por una representación que determinaba el movimiento atómico en razón de órbitas elípticas complejas.

La fuerza explicativa de la teoría cuántica llevó a los científicos de la época a extender sus alcances predictivos hacia ámbitos que en principio resultaban ajenos. Específicamente, las fuerzas de atracción entre partículas fueron un tema importante en el desarrollo de los estudios de las estructuras atómicas. En esta dirección, el físico teórico Pascual Jordan proponía la existencia de fuerzas de atracción entre elementos iguales, con lo cual se postulaba una posible solución para la relación de partículas con carga eléctrica diferente.

En dirección al estudio de las fuerzas de atracción en partículas, es importante resaltar las funciones de Bessel y las fuerzas Van der Waals. La primera es una ecuación matemática cuya aplicación muestra una solución pertinente en ecuaciones de coordenadas cilíndricas o esféricas. En relación con la simetría cilíndrica o esférica, la función Bessel proporciona resultados ante problemas de propagación de ondas y potenciales estáticos. En un sentido general, esta función permitió justificar la estructura simétrica (cilíndrica o esférica) en diferentes formas biológicas de naturaleza microscópica.

Por otra parte en el ámbito físico-químico, las fuerzas Van der Waals — también llamadas interacciones— constituyen las relaciones de atracción o repulsión entre particular moleculares y sus componentes. Estas interacciones surgen como consecuencia de la dinámica cuántica y, a diferencia de los enlaces covalentes, son causadas por las correlaciones entre polarizaciones fluctuantes de partículas que resultan cercanas. A nivel de partículas moleculares, estas fuerzas resultan más débiles que los enlaces químicos; pero muestran relaciones específicas de atracción-repulsión a nivel intermolecular. La función básica de las interacciones Van der Waals es la repulsión intermolecular, la cual evita el colapso entre moléculas cuando las entidades se acercan. Sin embargo, también muestran fuerzas de atracción como la “interacción electrostática”, donde partículas con la misma carga se repelen, mientras que las cargas opuestas se atraen; o bien, la atracción por “dispersión”, que opera en las partículas no polares.

### *Teorías químicas y la forma estructural de las partículas*

Ahora bien, la forma de la estructura molecular —es decir la forma y función de los componentes de partículas— fue determinada más bien desde ciertas relaciones químicas. Con base en enlaces químicos, se buscó determinar el grado de estabilidad de las estructuras moleculares a partir de enlaces regulares y repetibles que permitieran formas químicas concretas.

El modelo atómico propuesto por J. Dalton estableció los primeros parámetros de representación en las unidades atómicas. Al suponer el átomo como unidad indivisible —de acuerdo con la terminología griega usada por Demócrito—, dio cuenta de las reacciones estequiométricas fijas, es decir, las relaciones de masa de los elementos químicos que están implicados en una reacción. Por ello, aún cuando el átomo es indivisible, sí puede combinarse con otros átomos en una reacción química para formar compuestos. En razón de la “ley de las proporciones constantes”, propuesta por L. Proust, y de la “ley de las proporciones múltiples”<sup>17</sup>, del mismo Dalton (las cuales determinan de manera regular y constante las relaciones de masas entre átomos), una inferencia visual resulta como consecuencia necesaria: el átomo como unidad indivisible parece tener la forma estable de una esfera.

En esta dirección, la forma moderna del átomo fue propuesta a partir del modelo atómico de J. J. Thomson. A finales del siglo XIX, con base en sus experimentos en rayos catódicos, descubrió que éstos estaban constituidos por “corpúsculos” que provenían del interior del átomo mismo. Esto llevó a dos

---

<sup>17</sup> La ley de Proust se enuncia de la siguiente manera: “Cuando se combinan dos o más elementos para dar un determinado compuesto, siempre lo hacen en una relación de masas constantes”. Mientras que la ley de Dalton dice: “Cuando dos o más elementos se combinan para dar más de un compuesto, la masa de uno de ellos, se une a una masa fija del otro, tienen como relación números enteros y sencillos”. Para ampliar la información acerca de estas leyes y sus postulados en química, cfr. Stephenson, W. *Introducción a la Bioquímica*. Trad. Oscar Abundis. México: Limusa, 1991.

conclusiones importantes que revolucionarían el conocimiento científico: en principio, que los átomos podían dividirse en cuerpos más pequeños; y de ahí, se implicaba que estos cuerpos más pequeños constituirían las unidades mínimas (subatómicas) indivisibles de la materia. Estas partículas serían nombradas electrones, en razón del campo eléctrico que generan. El orden de estas partículas, de acuerdo con Thomson, estaría dispuesto a la manera de un “budín de pasas”, donde “la carga positiva desempeñó el papel de pudín, y los electrones son las pasas que están incrustadas en el pudín.”<sup>18</sup> En este modelo, de indiscutible fuerza metafórica, se consideraba que los electrones se distribuían de manera uniforme alrededor del átomo. En tanto hipótesis inicial, este planteamiento considera al átomo como una esfera con carga positiva, en la cual se formaba una especie de nube donde los electrones estaban repartidos alrededor como gránulos.

A diferencia del modelo daltoniano, el modelo de Thomson consideraba la estructura interna del átomo. En este sentido, no era el átomo una unidad indivisible, sino que estaba compuesta por partículas, algunas de las cuales contenían cargas negativas. Cronológicamente cercano al desarrollo de esta configuración científica, Jean Perrin propuso un modelo atómico basado en la analogía con el sistema solar. En esta última representación el orden interno del átomo está constituido por varias masas cargadas de electricidad positiva, en forma de “soles positivos” cuya carga será muy superior a la de cualquier otro corpúsculo. Pero además, el átomo está integrado por pequeños corpúsculos con carga negativa que gravitan bajo la acción de fuerzas electromagnéticas, y que simulan ser “planetas”; esto último supone que hay un equilibrio o equivalencia entre las cargas positivas de los soles y las negativas de los planetas, por lo cual Perrin dedujo que el átomo tiene carga eléctrica neutra.

En otro esfuerzo científico, y basado en los principios de la representación propuesta por Thomson, el físico y químico neozelandés Ernest Rutherford dio un paso adelante en la conformación de la estructura atómica. Basado en sus

---

<sup>18</sup> Brown, T. Ob. Cit. p. 79.

experimentos sobre lámina de oro, desarrolló el primer modelo que consideraba que la estructura interna del átomo constaba de dos partes. Al pasar un haz de partículas por una rendija y hacerlas incidir sobre una lámina de oro para observar a través de fotografías las desviaciones que sufrían, este experimento permitió proponer la forma esférica del átomo, en cuyo centro se encontraba la mayor cantidad de masa atómica y toda la carga eléctrica positiva. Con base en las evidencias de las placas fotográficas, Rutherford mostró que el átomo estaba constituido por un pequeño núcleo esférico, con carga positiva; y por una “corteza” o capa periférica, constituida por electrones girando alrededor del núcleo.

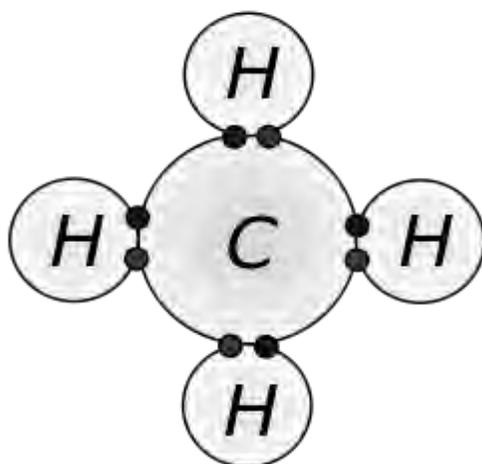
De acuerdo con las mediciones matemáticas y cálculos químicos, esta posición teórica sostenía que el núcleo sólo ocupaba un espacio pequeño en comparación con el volumen completo del átomo, por lo que podía considerarse que el átomo estaba prácticamente vacío. Esta última afirmación demostraba por qué la mayor parte de las partículas no sufrían desviaciones al atravesar la lámina de oro.

Ahora bien, tal y como lo suponía Kekulé, los átomos podían enlazarse con otros átomos para formar compuestos en reacciones químicas; pero esta teoría no mostraba de manera interna cómo se realizaban estos enlaces. En 1916 tanto G. Lewis y W. Kossel introdujeron la noción de enlace químico por transferencia de electrones (electrovalencia) de un átomo a otro para formar iones. También desarrollaron la teoría de enlace químico por pares de electrones. Los enlaces químicos entre átomos forman moléculas, y éstas son un conjunto de al menos dos átomos que se enlazan de manera covalente<sup>19</sup> para formar un sistema estable

---

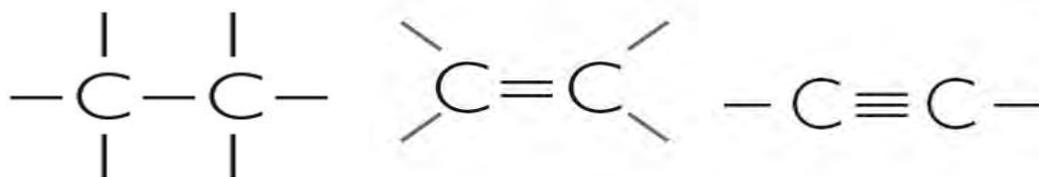
<sup>19</sup> A saber, un enlace covalente es la relación entre dos átomos o grupos de átomos que se produce cuando estos átomos se unen para alcanzar el octeto estable y comparten electrones del último nivel. La diferencia de electronegatividades entre los átomos no es suficiente. De esta forma, los dos átomos comparten uno o más pares electrónicos en un nuevo tipo de orbital, denominado orbital molecular. Los enlaces covalentes se suelen producir entre elementos gaseosos o no metales. El enlace covalente se presenta cuando dos átomos comparten electrones para estabilizar la unión. Al respecto, consultar: Barrow, T. *Química comprensible. Enlaces químicos*. Barcelona: Reverte, 1968. Pp. 87 y ss.

y con carga neutra. Ello supone que las relaciones de covalencia entre átomos para formar moléculas son fijas y regulares: pues alcanzan su estabilidad como molécula cuando alcanzan un octeto de átomos (Por ejemplo, en la siguiente imagen se muestran los enlaces covalentes de hidrógeno y carbono en el metano).

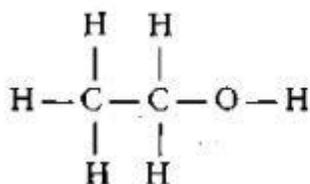


- Electrones del hidrógeno
- Electrones del carbono

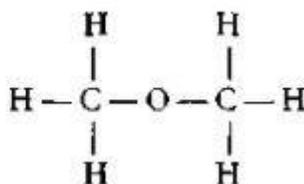
En todo caso, resulta importante reiterar la teoría estructural de Kekulé y los fundamentos estereoquímicos de LeBel y Van't Hoff como componentes teóricos esenciales en la conformación de representaciones visuales de las estructuras moleculares. Por una parte, los estudios estructurales sobre la capacidad de enlace de los átomos (valencia) permitió definir los tipos de conexión entre partículas de carbono (tetravalentes, divalentes y monovalentes). En razón de ciertos principios de valencia, Kekulé determinó que un átomo de carbono puede usar una o más de sus valencias para formar enlaces con otros átomos de carbono. De ahí que, una característica de la conectividad estructural es que los enlaces de carbono resultan ser constantes y estables, repitiéndose siempre el mismo número de enlaces:



La teoría estructural permite representaciones visuales que muestran las relaciones constantes en la conectividad estructural del átomo y con ello se logra establecer las diferencias químicas entre los isómeros: pues si bien éstos son compuestos con la misma fórmula molecular, empero tienen diferente conectividad estructural. Así pues, la fórmula estructural permitió establecer de manera clara y visual las diferentes relaciones químicas que subyacen en compuestos isoméricos (compuestos con la misma fórmula molecular). Esta característica explicativa de las fórmulas estructurales se evidencia cuando representamos la fórmula del alcohol etílico y el éter dimetílico, los cuales constan de la misma fórmula molecular ( $C_2H_6O$ ), pero diferente fórmula estructural:



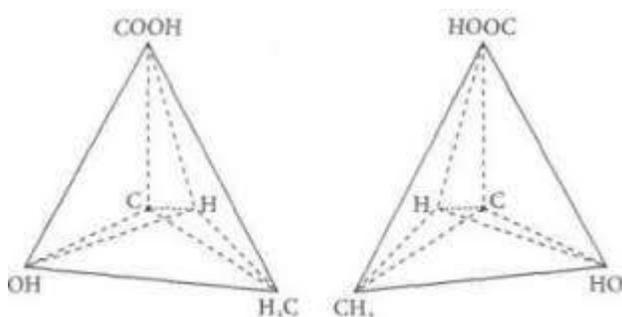
alcohol etílico



éter dimetílico

Por su parte, los principios de la estereoquímica, propuestos por J. A. LeBel plantean las relaciones necesarias entre la estructura molecular y la actividad óptica, con lo cual logra determinar la posición espacial de los átomos en las moléculas. Tomando estos principios en consideración, y partiendo de los fundamentos establecidos por Kekulé, Van't Hoff propone la estructura tetraédrica como la forma regular en que están ordenados los enlaces de carbón. En este sentido, ambos investigadores introdujeron los estudios de geometría a las indagaciones de la química estructural y la biología molecular.

Al considerar al tetraedro como fundamento de representación estructural, surgieron implicaciones epistemológicas que definirían los enlaces atómicos de manera determinante. En efecto, no sólo se afirmaría metafóricamente el carácter espacial de las moléculas, sino que además se supondría que estas relaciones estructurales permanecerían fijas en el tiempo: la persistencia de la actividad óptica significa que los enlaces de carbón permaneces constantes y sin cambios. La raíz de esta relación fija está en el carácter “asimétrico” de las moléculas en donde, a partir de una analogía con el efecto espejo de los objetos macroscópicos, se enuncia que las moléculas no se pueden superponer de tal manera que coincida su distribución atómica. Esto permite decir que en una representación tridimensional de la molécula, los átomos que la constituyen no pueden ocupar el mismo espacio frente a otra molécula similar (a manera de ilustración, la siguiente es la forma gráfica tetraédrica de la molécula del ácido láctico)

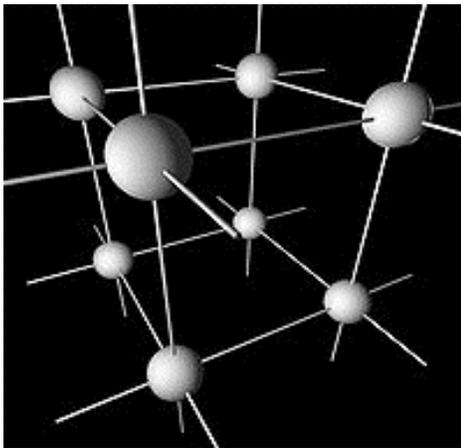


Por supuesto, no es menester aquí referir todas las teorías acerca de los enlaces químicos en compuestos orgánicos e inorgánicos. En todo caso, lo que interesa aquí es mostrar aquellos planteamientos que permitieron generar representaciones concretas que influirían en la configuración visual de las moléculas y macromoléculas.

En este sentido, es importante resaltar las contribuciones de los estudios cristalográficos de Sir Laurence Bragg y su hijo William Bragg. El método de cristalografía de rayos X permite estudiar la relación entre la posición de los átomos, la composición química y las fuerzas de enlace atómico. El principio de esta técnica propuesta L. Bragg consiste en un haz de luz de rayos X paralelos que inciden sobre la disposición cristalina de átomos. A través de la difracción de

rayos desviada por un cristal hacia una placa fotográfica, se puede establecer un patrón específico que caracteriza el peso atómico y la disposición espacial. Este análisis de las propiedades internas del átomo permite establecer inferencias acerca de la posición espacial de los átomos.

El trabajo de Bragg sobre cristalografía de rayos X permitió, sobre todo, postular la idea de que los átomos y enlaces iónicos en una molécula están ordenados en estructuras tridimensionales. Estos estudios en cristalografía partían del supuesto de que “la estructura de las biomoléculas debía estar relacionada con su función, de modo que la dilucidación de la estructura tridimensional debía contener la información acerca de la actividad de las proteínas y ácidos nucleicos.”<sup>20</sup> De ahí que, la posibilidad para representar tridimensionalmente una molécula abría las puertas para determinar sus funciones bioquímicas, entre otras su duplicación (la siguiente, es una imagen de la estructura tridimensional de una molécula).



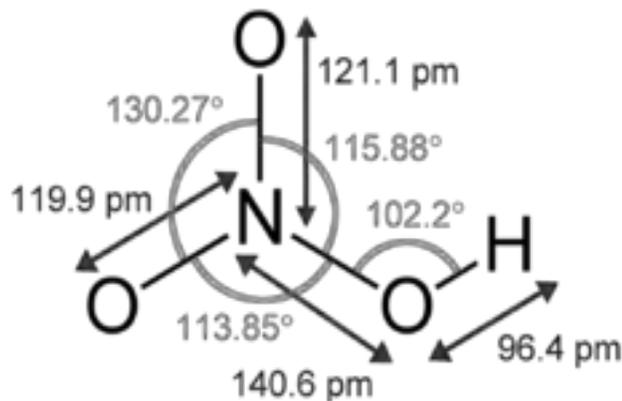
Otra aportación a nivel físico-químico está en las aportaciones de John Slater y Linus Pauling. A partir de planteamientos provenientes de la física cuántica, desarrollan el planteamiento molecular denominado “método de enlace de valencia” (o de pares electrónicos). La explicación acerca de la formación de enlaces considera a este vínculo como el resultado de la cobertura de las funciones de ondas de los electrones. De acuerdo con este estudio de ondas

---

<sup>20</sup> Suárez y Barahona. Ob. Cit. p. 404.

atómicas, la orientación espacial de estos enlaces —que a su vez determinan la forma geométrica de la molécula— responde a la máxima posibilidad de “superposición” de las funciones de ondas que intervienen en la formación del enlace.

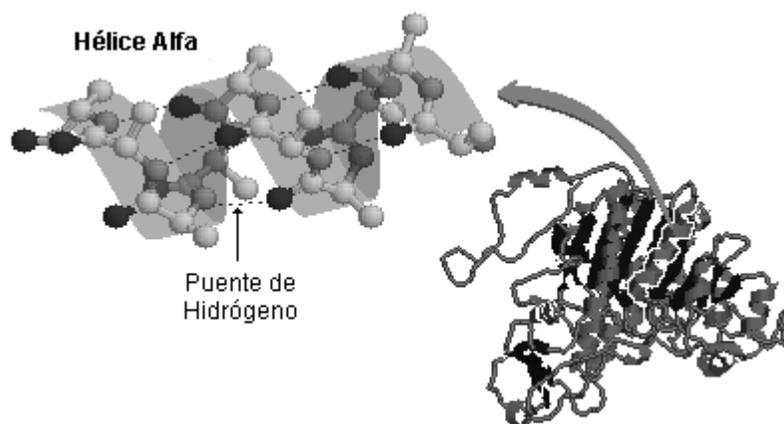
Sobre la base de estos principios se desarrolla la teoría de orbitales híbridos, en la cual se explica la capacidad de enlace mostrada por los átomos y la geometría que conforman las moléculas. A partir de esta teoría, y rescatando los principios de estabilidad atómica, Pauling logra obtener los datos necesarios acerca de los ángulos de enlace dentro de una molécula y las distancias interatómicas. De ahí derivó los seis principios del análisis cristalográfico y de las relaciones entre átomos, complementando con ello los principios planteados por Bragg. Finalmente, los estudios físico-químicos de Pauling en torno a la cristalografía y la estructura de las macromoléculas (proteínas) ofrecerían las directrices formales y cuantitativas para la construcción de representaciones moleculares (la siguiente imagen es ilustración de la determinación de ángulos en enlaces covalentes y estructuras moleculares).



Los análisis cristalográficos de W. Atsbury y J. D. Bernal, junto con las investigaciones de Pauling, determinaron en conjunto la estructura helicoidal en las macromoléculas. Sus estudios en proteínas, y en particular en la queratina, los llevó a concluir que en las macromoléculas estaban presentes dos formas básicas, una alfa ( $\alpha$ ) que permanecía sin estirarse; y una beta ( $\beta$ ) que se

observaba estirada en presencia de agua. La primera de estas formas estaba constituida por enlaces (puentes) de hidrógeno; y en virtud de estos puentes se podía inferir como una estructura estable. La disposición atómica sugería una forma helicoidal, a la manera de una “cadena” compacta compuesta por varias secciones helicoidales.

Con base en diferentes cálculos matemáticos para interpretar los resultados cristalográficos, Pauling dedujo las propiedades formales-cuantitativas de lo que sería conocido como la  $\alpha$ -hélice: una estructura helicoidal dextrógira que presenta una repetición (giro) cada  $5.4$  amstrongs, es decir, cada  $3.6$  aminoácidos presenta una vuelta; y cuya estabilidad está determinada por los enlaces de hidrógeno entre los átomos cada tres o cuatro aminoácidos. Por lo cual, cada aminoácido forma dos enlaces de hidrógeno, esto es, en total presenta  $7$  enlaces de hidrógeno por vuelta. Esto posibilitaría considerar la  $\alpha$ -hélice como un largo ensamble constituido por giros y longitudes que se encuentran doblados de manera compacta<sup>21</sup>.



### 1.3 Los modelos: representaciones moleculares y funciones

El tema de las fórmulas químicas<sup>22</sup> para mostrar valencias en isómeros nos obliga a considerar las formas pertinentes en la distribución de elementos atómicos. Como se mencionó en el apartado anterior, los isómeros son

<sup>21</sup> Sin duda, resulta interesante notar que la “observación” los haya llevado a inferir la estructura molecular compuesta por una hélice, es decir, por una estructura que en geometría se define como una línea curva con ángulo “constante” y que sigue una dirección fija en el espacio.

<sup>22</sup> Para profundizar acerca de las diferentes fórmulas químicas y su historia, Cfr. Asimov, Isaac. *Breve historia de la química: introducción a las ideas y conceptos de la química*. Trad. Alfredo Cruz. Madrid: Alianza, 1975.

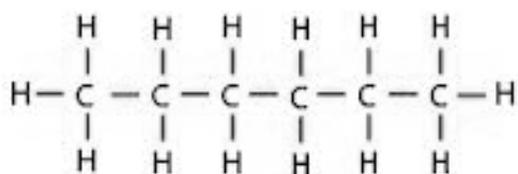
compuestos cuya fórmula molecular se corresponde (la fórmula del alcohol etílico y el éter dimetílico es en ambos  $C_2H_6O$ ); razón por la cual resulta problemático hacer una distinción entre elementos a este nivel de representación.

En este sentido, las fórmulas estructurales no sólo indican el número de átomos que integran una molécula, sino que además muestra la orientación espacial y la forma de unión entre los átomos en dicho compuesto. El enlace (valencia) entre átomos se representa gráficamente por medio de líneas que se ubican entre los símbolos que constituyen cada uno de los elementos atómicos. Por ello, este tipo de fórmula permite mostrar las relaciones estructurales que constituyen la forma de una molécula y, de este modo, evidencia la distribución espacial de los átomos. A nivel epistemológico, las gráficas estructurales posibilitan visualizar los cambios moleculares que ocurren en los procesos de síntesis química. En palabras de Isaac Asimov “las fórmulas estructurales hacían gala de una utilidad tan obvia que muchos químicos las aceptaron inmediatamente, quedando desfasados por completo todos los intentos de representar las moléculas orgánicas como estructuras construidas a partir de radicales. Ahora podría construirse nada menos que una representación átomo por átomo”.<sup>23</sup>

Un primer modelo para representar compuestos orgánicos sencillos son las “fórmulas semidesarrolladas” y las “fórmulas desarrolladas”. En ambas se muestra la distribución de átomos que forman una molécula covalente. Pero, a diferencia de la versión semidesarrollada, la estructura desarrollada permite visualizar espacialmente la repartición de los átomos y sus relaciones de valencia interatómica; mientras que en las semidesarrolladas no se especifican algunos de los enlaces, específicamente los enlaces de carbono-hidrógeno (en la siguiente imagen se presenta, arriba, un ejemplo de estructura desarrollada; y abajo una semidesarrollada).

---

<sup>23</sup> Asimov, Isaac. Ob. Cit. p. 120.



Ahora bien, para señalar de manera gráfica las relaciones geométricas<sup>24</sup> y tridimensionales en los átomos que constituyen una molécula, se han planteado al menos tres tipos de modelos moleculares<sup>25</sup>. La función específica de estos modelos consiste en plantear correlaciones entre términos verbales (explicaciones científicas) y términos visuales (configuraciones especiales); y a través de estas relaciones se pueden inferir las dimensiones (como la talla y forma) de entidades microscópicas. Pero además, al configurar macroscópicamente una partícula microscópica —tomando como base la información relevante que constituye su estructura atómica o molecular—, los modelos tridimensionales posibilitan el manejo e intervención de la entidad representada y, al mismo tiempo, permiten deducir más información relevante a partir de lo percibido en el modelo.

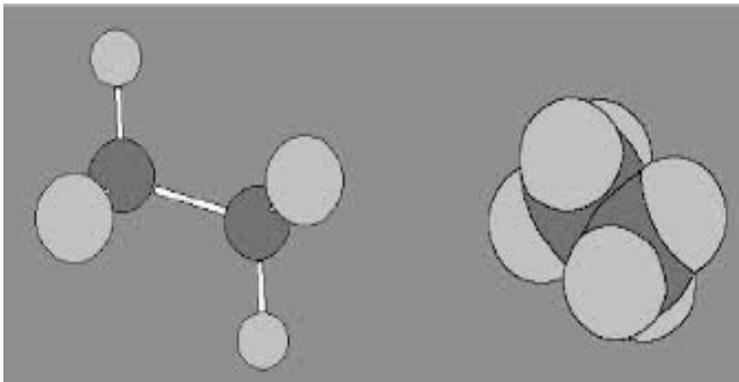
El primero de ellos, propuesto en 1865 por Wilhelm von Hofmann, es el denominado “modelo de barras y esferas”, trazado a una escala de 5 cm por amstrong, y en el cual se mostraba la rotación de los diferentes enlaces covalentes. Compuesto por esferas perforadas en ángulos específicos y por barras con una longitud determinada de enlace, esta estructura permitió representar de manera sólida formas cristalinas y determinar deductivamente la posición de los enlaces atómicos. Sin embargo, un defecto claro en la manufactura está en la proporción: pues el radio de las esferas que representan los elementos

<sup>24</sup> Y se habla de manera tajante de “relaciones” y no “propiedades”, pues en caso de enunciar propiedades geométricas se estaría afirmando que, de hecho, la cualidad geométrica es una propiedad inherente de las partículas microscópicas. Cuando, en realidad, lo que se busca mostrar a lo largo de este trabajo es lo contrario: pues el lenguaje científico determina características y propiedades en entidades, sin aludir a las propiedades existenciales o empíricas de las mismas.

<sup>25</sup> En relación con los modelos moleculares y atómicos, revisar: Brown, T. Ob. Cit. Capítulos 5 y 6.

no es proporcional al radio atómico; pero además, para mostrar la idea de espacio y enlace atómico, el radio esférico no es proporcional con la extensión de las barras. Por tanto, este modelo proporciona una visión clara de la posición de los enlaces, pero no del espacio ocupado por las sustancias, pues marca la distancia atómica como un espacio vacío.

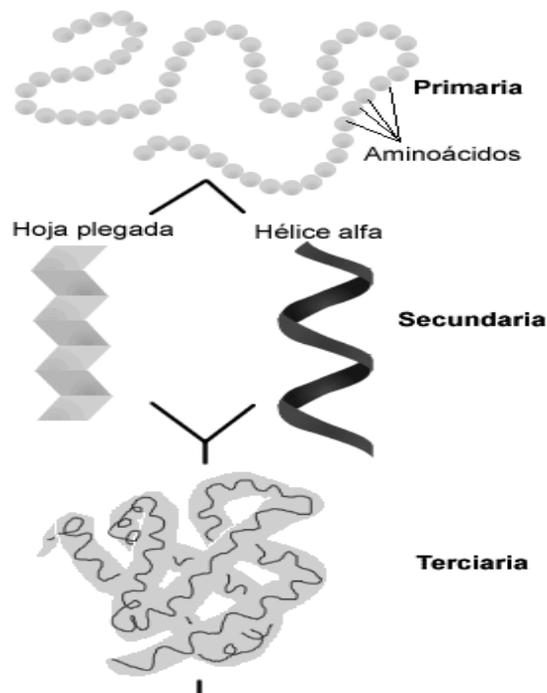
En cambio, el “modelo de espacio lleno” proporciona una solución diferente, pues permite representar el radio de atracción-repulsión ocasionado por las fuerzas Van der Waals. Esta representación propuesta por Pauling, la dimensión esférica y distancia atómica están determinadas en una relación de proporción a escala con los radios y núcleos atómicos. En términos visuales, este modelo permite mostrar las dimensiones moleculares relativas, y establecer a partir de ahí inferencias concretas sobre la forma específica de una molécula. Sin embargo, en un sentido opuesto al modelo anterior, no revela de manera clara los enlaces atómicos; ni la estructura molecular interna, que se articula detrás de la primera capa atómica (en la siguiente imagen: a la izquierda el modelo de “barras y esferas” y a la derecha el modelo “espacio lleno”).



No obstante, para determinar la forma espacial de las macromoléculas, el primer modelo resulta muy sencillo y carece de elementos constitutivos, mientras que el modelo de “espacio lleno” proporciona configuraciones muy complejas que no muestran la organización interna de los componentes moleculares. En ambos, sus estructuras resultan insuficientes para mostrar las funciones bioquímicas complejas de las macromoléculas.

A diferencia de éstos, el “modelo helicoidal” tiene como fundamento visual la forma geométrica de la hélice, es decir, una figura específica definida como una línea curva con ángulo “constante” y que sigue una dirección fija en el espacio. Con base en una estabilidad química constituida por puentes de hidrógeno y fuerzas de atracción-repulsión entre sus elementos, esta estructura permite representar la función básica de las macromoléculas (como el ADN o las proteínas): a saber, la autorreplicación. Tomando como referencia una forma helicoidal, se pueden establecer cadenas espaciales en las cuales permanecen conectadas varios segmentos helicoidales; pero que estructuralmente forman ensambles compactos que permanecen plegados.

En esta dirección, a partir de los estudios cristalográficos de Bragg y Pauling (principalmente), se determinó la forma helicoidal de las proteínas, las cuales en razón de estas investigaciones constan de tres estructuras orgánicas: una estructura primaria interna, constituida por una secuencia lineal de aminoácidos; una secundaria externa, moldeada por una hélice plegada ( $\alpha$ ) o bien por una forma extendida a la manera de hoja ( $\beta$ ); y la tercera, que ocurre cuando hay fuerzas de atracción entre las hélices u hojas, y entonces la cadena de aminoácidos permanece plegada o doblada.



Este último elemento, la estructura molecular plegable, constituirá una de las metáforas más importantes para entender los procesos bioquímicos que ocurren a nivel de las macromoléculas y, en consecuencia, será uno de los puntos a trabajar dentro del estudio semiótico-filosófico que se pretende realizar más adelante.

#### **1.4 Estructura del modelo ADN Watson/Crick.**

Para el año de 1951, una de las discusiones principales a nivel de biología molecular y bioquímica giraba en torno a la necesidad de definir cuál era la macromolécula portadora del material genético. La lógica de los avances bioquímicos de la época y la asumida complejidad de la información genética sugerían, en un sentido deductivo, que las proteínas realizaban esta función: constituidas por veinte aminoácidos, estas macromoléculas parecían responder de mejor manera a la idea de complejidad en la transmisión y replicación genética. En cambio, la constitución química de la molécula de ADN, compuesta de sólo cuatro

nucleótidos, no concordaba con aquellas ideas acerca de los procesos biológicos complejos.

Si bien ya desde 1944 las investigaciones bacterianas de Avery, MacLeod y McCarty<sup>26</sup> permitieron afirmar la molécula de ADN como portadora del material genético; empero, no quedaba claro cómo es que una estructura molecular sencilla podía funcionar dentro del proceso complejo de replicación genética. La estructura del modelo de ADN propuesto en 1953 por Watson/Crick permitió visualizar y responder a esta cuestión científica.

La estructura química del modelo consiste en un par de hélices, constituidas por cadenas atómicas compuestas cada una por un esqueleto de fosfatos y azúcares (de clase desoxirribosa y compuestos de C,H y O). Estos enlaces forman estructuras anilladas que se enlazan respectivamente con alguna base orgánica: ya sea una pirimidina (Citosina y Timina) o bien con alguna purina (Adenina y Guanina). Asimismo, la forma estructural de las bases o nucleótidos son anillos compuestos por átomos de nitrógeno y carbono, aunque a diferencia de las pirimidinas, las purinas están configuradas por anillos dobles.

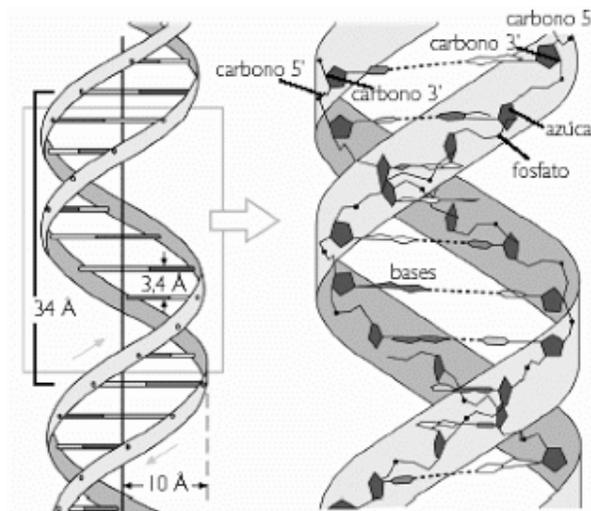
Con base en las reglas de equivalencia establecidas en 1948 por E. Chargaff, cada nucleótido de un grupo se relaciona de manera complementaria con el nucleótido del otro grupo. De ahí que la valencia química resulte estable, pues a cada pirimidina le corresponde una purina. En este sentido, de las relaciones propuestas por el modelo se puede a partir de una secuencia de bases en una cadena deducir la secuencia de bases de la cadena opuesta y, por lo tanto,

---

<sup>26</sup> Las afirmaciones de estos investigadores se sustentaron en la investigación realizada por F. Griffith. Su estudio acerca de las bacterias causantes de la neumonía (*Pneumococcus*) consistió en identificar empíricamente (inyección en ratones) las funciones infecciosas entre cepas mortales (placas lisas) y cepas inofensivas (placas rugosas). Lo interesante de su investigación fue mezclar cepas e inyectar al huésped: mezcló cepas lisas que estaban muertas con cepas rugosas vivas. Lo que se mostró fue una “transformación bacteriana” donde las cepas rugosas adquirieron el material genético de una cepa mortal (se volvieron lisas), contagiado así al huésped con neumonía. Lo que aportaron Avery y su equipo fue mostrar que la sustancia que producía dicho cambio, por medio del mecanismo de transformación bacteriana, era ácido desoxirribonucleico. Es decir, “por medio de la transformación bacteriana se pueden insertar fragmentos de ADN extraño en el cromosoma de otra bacteria, reemplazando al gene inactivo de esta última y recuperando su capacidad virulenta una vez más”. Ver: Barahona, Ana y Piñero, Daniel. *La continuidad...* Ob. Cit. P. 70 y ss.

en una cadena doble, el número de Adeninas es igual al número de Timinas, mientras que el número de Guaninas es igual al de Citosinas. A nivel espacial, las bases orgánicas se relacionan entre sí por medio de puentes de hidrógeno, lo que configura formas espaciales regulares que permiten visualizar los enlaces químicos que sostienen el centro de la doble hélice.

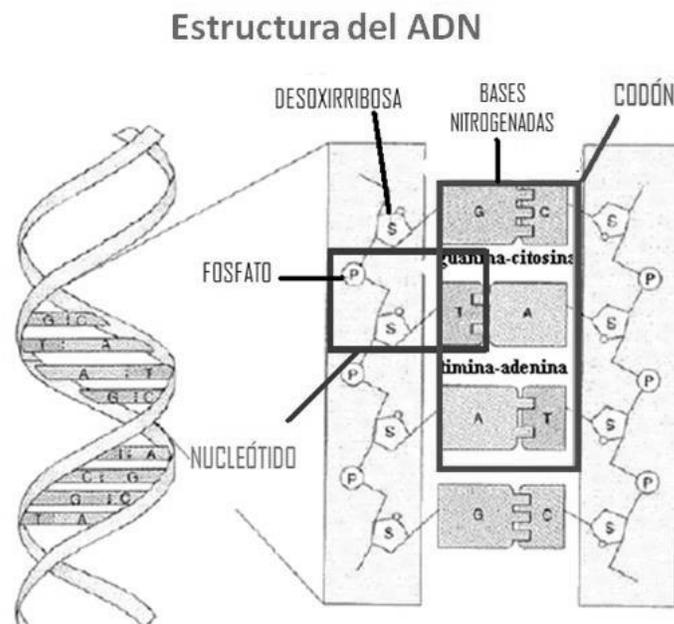
La estructura de la doble hélice —a diferencia de la triple hélice de Pauling— tiene como característica principal que la orientación de los azúcares de cada cadena helicoidal apunta hacia una dirección invertida con respecto a la otra; es decir, que una cadena se orientan los azúcares hacia una dirección y en la otra cadena hacia otra. En razón de esta disposición invertida y la regularidad de los enlaces entre nucleótidos, el modelo de ADN gira  $360^\circ$  cada diez pares de bases. Por otro lado, el esqueleto compuesto por azúcar y fosfato tiene la capacidad de unirse a cualquier base orgánica (ya sea purina o pirimidina), con lo cual se puede derivar de manera estable cualquier secuencia de nucleótidos.



Así pues, con base en las lecturas cristalográficas proporcionadas por Maurice Wilkins y Rosalind Franklin y ajustándose a los datos de Chargaff, el modelo del ADN propuesto por Watson/Crick se configuró a partir de patrones de medición específicos, en los cuales se mostraba que las medidas intramoleculares indicaban que el ancho de la doble hélice era de 2.0 nanómetros (nm), mientras que el grosor de las bases nucleótidas era de .34 nm. Ahora bien, puesto que la

doble hélice gira sobre sí misma, de manera que puede enrollarse, cada giro de 360° ocurre en un patrón de longitud de 3.4 nm, lo que corresponde a cada diez pares de bases.

La regularidad en los patrones de enlace entre nucleótidos propuestos en el modelo logró fundamentar descripciones concretas de los procesos de replicación molecular. En principio, las cadenas de nucleótidos permiten visualizar la secuencia de bases y el modo en que la información genética está codificada dentro de un segmento específico. Sin embargo, para que el material genético se replique es necesario que su información sea transmitida hacia proteínas; y es en este punto donde el modelo resulta determinante en tanto posibilita caracterizar la relación de correspondencia entre nucleótidos y aminoácidos: pues si la información genética está codificada por la secuencia de bases, se puede establecer que cada tres bases conforman un codón, y cada codón se corresponde con uno de los veinte aminoácidos.



El paso del ADN a la estructura de una proteína implica considerar la replicación como un proceso compuesto por dos fases: en una primera etapa, la

información del ADN se transcribe a una molécula intermedia, que resulta ser por su similitud otro ácido (ARN). La transcripción ocurre de acuerdo con las reglas establecidas en razón del modelo Watson/Crick, en donde “una A (adenina) se aparee con una U (recordemos que en el caso del ANR la timina es sustituida por el uracilo), y una G (guanina) por una C (citosina). El resultado es la formación de la molécula conocida como ARN mensajero que a su vez será traducida en una proteína.”<sup>27</sup>

Así pues, la segunda fase constituye un proceso de traducción en donde los enlaces del ARN se incorporan a la estructura de la proteína, dentro de los parámetros de correspondencia entre nucleótidos y aminoácidos. Este proceso de síntesis permitió establecer una relación determinante, en la cual a cada gene le corresponde una proteína. Finalmente, la descripción estructural del proceso de replicación, a través de las relaciones y reglas establecidas dentro del modelo, le permitió a Watson considerar que este flujo de información genética constituye el “dogma central de la biología molecular.”

---

<sup>27</sup> Barahona, Ana y Piñero, Daniel. Ob. Cit. p. 80.

## **CAPÍTULO 2. ANÁLISIS SEMIÓTICO, METÁFORAS Y PROBLEMAS DE SENTIDO**

El capítulo anterior tuvo como objetivo específico delimitar las corrientes teóricas que influyeron en la configuración del ADN, en tanto paso metodológico que permite establecer el código de referencia que condiciona la interpretación de esta representación científica. En cambio, en el presente capítulo se buscarán dos objetivos: uno, enfocado a delimitar y precisar la herramienta de análisis semiótico; el otro, dirigido a la aplicación de esa herramienta en el análisis concreto de la representación del ADN.

Al final del análisis, se hará una reflexión semiótica en relación con los diversos problemas interpretativos que resultan de las relaciones icónicas y simbólicas. En esta dirección, se buscará problematizar sobre el sentido metafórico de los modelos y sus consecuencias en la construcción de un conocimiento científico.

### **2.5 Semiótica Pragmática**

En los siguientes apartados se buscará delimitar las categorías y conceptos sobre los cuales se realizará el análisis de la representación del ADN propuesta por Watson y Crick. La corriente pragmática que se delimitará resulta importante pues, pese a las diversas corrientes semióticas que podrían utilizarse, ésta en particular permite hacer un análisis concreto con respecto al carácter referencial de una representación científica; para mostrarnos, a partir de categorías específicas vinculadas con el objeto de referencia, problemas de sentido en la interpretación semiótica

#### **2.1.1 Esbozo de la teoría semiótica de Charles Sanders Peirce**

##### *Semiótica pragmática y abducción*

En la concepción del pragmatismo, referido por William James, y presumiblemente acuñado por el filósofo Ch. S. Peirce, se plantea un principio

fundamental que define esta postura filosófica: el significado racional de un término, palabra o expresión, consiste en su alcance concebible y sus consecuencias en la conducta humana. Pero, en el marco de esta disciplina se esbozan los fundamentos de otra corriente, la pragmática, la cual consiste desde su raíz kantiana en la aplicación del conocimiento general con miras a influir en la conducta moral.

Para Peirce, la pragmática<sup>28</sup> es una teoría del significado, en la cual el conocimiento del significado total de un objeto está en razón del conocimiento acerca de los efectos prácticos del mismo. Desde aquí, la pragmática establece los fundamentos para un específico estudio semiótico de los signos a partir de la abducción<sup>29</sup>; mientras que el pragmatismo —considerando la distinción misma hecha por este autor—, es un método para reflexionar y determinar el sentido de los “conceptos intelectuales” (es decir, aquellos sobre los cuales pueden trabajar razonamientos) a partir de sus usos en la acción o el pensamiento.

En este sentido, la distinción derivada del pensamiento en Peirce resulta importante: el pragmatismo es una corriente filosófica que estudia los conceptos racionales y su sentido práctico en la conducta moral; mientras que la pragmática indaga sobre el significado de todos los términos que utiliza el hombre en sus prácticas comunicativas.

En las primeras líneas de este trabajo se esbozó una primera distinción entre pragmatismo y pragmática. Empero, un argumento fuerte para determinar esta distinción lo establece el mismo Peirce en el *Prefacio* a sus *Lecciones sobre Pragmatismo*; ahí el autor dice que “el pragmatismo no pretende decir en qué consisten los significados de todos los signos, sino meramente ofrecer un método para determinar el sentido de los conceptos intelectuales, esto es, de aquellos

---

<sup>28</sup> Para algunos historiadores de la filosofía, el término Pragmática, como estudio semiótico del lenguaje, fue acuñado y establecido por Ch. Morris (discípulo de Peirce). Sin embargo, ya los fundamentos de esta postura teórica son discutidos con anterioridad por el mismo Peirce en su texto *Lecciones sobre Pragmatismo*.

<sup>29</sup> La Abducción es tipo de razonamiento que se esbozará más adelante en este ensayo.

sobre los que pueden versar los razonamientos”<sup>30</sup>. En cambio, la pragmática tiene un proceder semiótico, esto es, sí está interesada en una medida importante en determinar los significados de todos los signos.

Aunque si bien esta acepción de pragmática fue acuñada por Ch. Morris — discípulo de Peirce—, como una disciplina que tratase de todos los fenómenos (psíquicos, biológicos y sociales) que intervienen en el funcionamiento de los signos <sup>31</sup>, los fundamentos de la disciplina fueron esbozados antes en las precisiones peircianas acerca de los modos indicativos del lenguaje. Desde esta perspectiva, las teorías que versan sobre el lenguaje en acción y los actos de habla tendrían como cimiento la delimitación peirciana acerca del signo y su señalamiento en torno a sus consecuencias prácticas y comunicativas.

No obstante, la delimitación no es del todo clara, y quizás no deba serlo, pues para Peirce un mismo principio parece regir a ambas disciplinas, a saber, “el principio según el cual todo juicio teórico expresable en una oración en el modo indicativo es una forma confusa de pensamiento cuyo único significado... radica en su tendencia a imponer una máxima práctica correspondiente...” <sup>32</sup> Este principio, si bien enunciado para el pragmatismo, no parece estar dissociado con las pretensiones epistemológicas de la pragmática. En todo caso, la diferencia está en el ámbito humano al que se enfocan: el pragmatismo considera las consecuencias morales de los conceptos intelectuales (bien, libertad, justicia...); mientras que la pragmática, el significado de todos los términos, conceptos y signos, y sus implicaciones en la conducta social dentro de ámbitos prácticos de uso comunicativo.

Haciendo una lectura de esta propuesta, Hermán Parret <sup>33</sup> define la pragmática como una disciplina que conecta el significado y el proceso de significación con el uso de los signos en toda clase de contextos; y de esta

---

<sup>30</sup> Peirce, Ch. S. *Lecciones sobre el Pragmatismo*. Trad. Dalmacio Negro Pavón. Argentina: Aguilar editores, 1978. P. 53.

<sup>31</sup> Cfr. Morris, Ch. *Fundamentos de la teoría de los signos*. Trad. Rafael Grasa. Barcelona: Paidós, 1985.

<sup>32</sup> Peirce, Ch. S. Ob. Cit. p. 66

<sup>33</sup> Para revisar su propuesta semiótica, consultar: Parret, Hermán. *Semiótica y Pragmática: Una comparación evaluativa de marcos conceptuales*. Trad. María Teresa Poccioni. Buenos Aires: Edicial, 1993. Pp. 145 y ss.

manera, está estrechamente vinculada con el entendimiento y el razonamiento. De acuerdo con esta definición, la “actitud pragmática” —como una actitud epistemológica— consta de tres condiciones necesarias para establecer el significado: en principio, considerar que el significado está contextualmente ligado; luego, aceptar que la racionalidad está discursivamente ligada; y finalmente, reconocer que el proceso de significación implica comprensión.

En este sentido, es importante resaltar la significación como un proceso de comprensión. Pues bien, a diferencia de las corrientes hermenéuticas contemporáneas, la pragmática es una teoría del entendimiento en la cual se reconoce que ninguna significación trasciende el entendimiento, es decir, que toda significación está anclada en un proceso racional. Esto último implica que entender la significación de una secuencia semiótica es poner una restricción sobre el lenguaje que, en tanto límite, tiene la función nodal de establecer las condiciones comunicativas de un grupo social. Por ello, sólo será un lenguaje aquel que permita el entendimiento en una comunidad o sociedad, y en consecuencia, todo texto, discurso o “secuencia semiótica” es una totalidad de regularidades que expresan el razonamiento teórico y práctico.

Sin embargo, pese al carácter racional de la semiótica pragmática, su fundamento está más bien en un tipo de razonamiento no deductivo. Desde Peirce, este tercer razonamiento es la “abducción”<sup>34</sup>, y es diferente de los razonamientos por inducción o deducción pues no procede por medio de una afirmación determinante. La abducción es un tipo de razonamiento que representa la espontaneidad de la razón especulativa y la investigación teórica; procede mediante simples interrogaciones y conjeturas a establecer hipótesis explicativas acerca de la naturaleza de un fenómeno. No afirma de manera categorial un conocimiento sino que, más bien, cuestiona el conocimiento anterior para dar cuenta de la posibilidad de un conocimiento nuevo.

---

<sup>34</sup> En el texto “Lecciones sobre Pragmatismo”, Peirce define la forma lógica de la abducción de la siguiente manera:

- a) Se observa el hecho sorprendente C
- b) Pero si A fuese Verdadero, entonces C sería trivial
- c) Luego, hay razones para sospechar que A es Verdadero

Para Peirce, este razonamiento es el que permite que el conocimiento científico avance, en tanto se constituye como el fundamento de los otros dos razonamientos<sup>35</sup>. La lógica abductiva da cabida al instinto, como intuición del sentido aún desconocido, pues el resultado de este razonamiento siempre es la “sugerencia” de que algo puede ser de una determinada manera. De esta manera, de la sugerencia (hipotética) hecha por la abducción, el pensamiento deductivo extrae una predicción, la cual posteriormente es verificada por la inducción.

Sin embargo, a nivel de conocimiento el proceso comprensión y significación es abductivo. Para Parret, las estrategias de comprensión son de carácter inferencial, ya que implican la “transposición” de significado de nivel objeto a un nivel de discurso. Esta trasposición de significados permite establecer “inferencias prescriptivas”, o en otras palabras, hipótesis iniciales que determinan las condiciones de aceptabilidad de aquello que puede ser o no comprendido en un sentido causal: pues si dentro de un sistema de lenguaje aceptas que “s”, entonces tendrías que aceptar que “S”.

En razón de lo anterior, esta postura semiótico-pragmática no parte de la noción de verdad por correspondencia<sup>36</sup>. Las nociones pragmáticas de contexto, uso y sentido nos llevan a considerar la verdad como una cuestión de coherencia al interior de un sistema de lenguaje. Desde su posición filosófica, para Peirce pensar en términos de correspondencia implica mostrar un conjunto vacío: “si sus términos „verdad” y „falsedad” se toman en sentidos tales que puedan ser definibles en términos de duda y creencia y del curso de la experiencia (...), pues muy bien: en ese caso sólo se está hablando de duda y creencia. Pero si por verdad y falsedad se quiere significar algo no definible en ningún sentido en términos de

---

<sup>35</sup> Por supuesto, no se afirma aquí que el conocimiento sólo avance por medio de la abducción; sino más bien que es este tipo de razonamiento la condición necesaria para el progreso del conocimiento. En todo caso, para este autor el conocimiento avanza imbricando los tres tipos de razonamiento en lo que él llama “economía de la ciencia”, donde el proceso de conocer el mundo inicia por la abducción, y se concreta posteriormente en la deducción y la inducción.

<sup>36</sup> Es decir, no parte de una teoría de la verdad por correspondencia, o teoría correspondentista de la verdad, en la cual se sostiene que la verdad o falsedad de una proposición está determinada sólo por el modo en que se relaciona con el mundo, y si en todo caso describe con exactitud ese mundo.

duda y creencia, entonces se está hablando de entidades de cuya existencia nada se puede saber”.<sup>37</sup> De ahí que, la verdad se establece dentro de un proceso de conocimiento cuyo fin es el “acuerdo” de opinión. Según ésta definición, la forma de entender la verdad peirceana es en términos de una “*convergencia*” de opinión acerca de alguna cuestión o problema particular.

Por otro lado, este concepto de creencia se define como un “hábito interior”, que predispone las acciones hacia una orientación específica con respecto al objeto. Esta noción parece estar más vinculada a un carácter semiótico de la verdad, en donde ésta se constituye como un principio regulativo (y no determinante ni determinado) de la investigación del cosmos o la naturaleza.

Frente al realismo de entidades (de carácter esencialista o mentalista), la postura fenomenológica en Peirce es determinante: el proceso de conocimiento sólo puede ocurrir a partir de la “abstracción”, es decir, el proceso de observación (abstracta) a través del cual el sujeto se observa a sí mismo, observa su propia imaginación y escudriña su conciencia para hacer un diagrama esquemático de sí mismo<sup>38</sup>. En otras palabras, la abstracción, en tanto observación, permite establecer un estado hipotético de las cosas (abducción), observa lo que el sujeto mismo ha imaginado acerca de estas cosas para evaluar su posibilidad. A fin de cuentas, en esta orientación la semiótica es una ciencia de observación, pero sólo de una observación hipotética y, por eso mismo, fenomenológica.

---

<sup>37</sup> Peirce, Ch. S. *Escritos filosóficos*. México: Colegio de Michoacán, 2000.p. 526.

<sup>38</sup> Hay una clara distancia entre Kant y Peirce en este punto. Por supuesto, este planteamiento es de herencia kantiana, donde el “esquematismo trascendental” tiene la función de establecer un orden lógico racional en los conceptos del entendimiento. Pero, a diferencia de Kant, Peirce propone el “diagrama”, donde supone que todo pensamiento significativo debe ser necesariamente diagramático: es decir, a diferencia de Kant, asume que todo pensamiento con sentido, y toda representación subjetiva, implica el uso de signos. Mientras que Kant reconoce la existencia de representaciones no significativas.

## *Teoría semiótica: los componentes del signo y la semiosis*

Desde la semiótica peirciana, el signo se define como todo aquello que para alguien “representa” o se refiere a algo (diferente del signo mismo) en algún aspecto o carácter. En este sentido, el signo se refiere a una especie de idea del objeto, a una representación ideal del objeto que, en la terminología semiótico pragmática, se corresponde con la noción de “fanerón”.<sup>39</sup> Este último es una representación mental de orden cultural y social, que está presente en el total colectivo y permanece como información mental en la totalidad de las mentes que forman el conjunto de una sociedad.

El fanerón, como representación mental, es lo que subyace como contenido en los signos; es la idea a la que hace referencia el signo. Sin embargo, la posición pragmática de Peirce es clara: un signo no significa en razón de su objeto de referencia, sino que la significación se realiza a nivel de la convención; y es este elemento (llamado terceridad) la condición necesaria que constituye al signo, en tanto signo. En este sentido, la terceridad establece los rasgos a través de los cuales el signo significa en razón de las normas, reglas y convenciones que determinan el sentido del uso de los signos o práctica significativa.

En este sentido, un signo denota su objeto sea este último perceptible o no; sea imaginable o aún inimaginable. Pues “lo que está en la mente no implica su necesaria correspondencia con alguna cosa real”<sup>40</sup>; en consecuencia, los signos establecen sus relaciones de sentido en razón de una colectividad, y no por su correspondencia con objetos de la experiencia. Por ello, para significar no es necesario apelar a las condiciones de existencia de los objetos de referencia; basta con que el signo funcione como signo (represente algo) para alguien más. En este modo de proceder, la fenomenología semiótica escudriña el modo en que

---

<sup>39</sup> Puesto que la semiótica, como estudio fenomenológico, estudia los rasgos del fanerón; esta disciplina también suele ser llamada por Peirce como Faneroscopia.

<sup>40</sup> Peirce, Ch. S. *Escritos Filosóficos*. México: Colegio de Michoacán, 1997. P. 223

se muestra algo a la conciencia, y se esfuerza por “combinar la exactitud más minuciosa con la generalización más amplia posible.”<sup>41</sup>

Ahora bien, en cuanto a su forma interna, en el signo se presentan tres niveles de relación que constituyen sus posibilidades funcionales y componentes lógicos. El primer nivel de relación es aquel cuya naturaleza relacional es de posibilidad, es decir, la posibilidad lógica de percibir unidad, continuidad y semejanza. Un segundo nivel de relación es aquel cuyo carácter es de hechos reales, y donde se establecen las relaciones de referencialidad hacia un objeto representado. Y finalmente, un tercer nivel, el de las leyes, donde se establecen las relaciones de convención que determinan normativamente y condicionan el sentido explicativo<sup>42</sup> del signo.

De estos tres niveles de relación se derivan, como posibilidades lógicas, tres correlatos. Estos correlatos nos muestran en un sentido analítico los tres componentes y momentos categoriales del signo: *primeridad/representamen*, que constituye el nivel de relación más simple donde se comprende lo particular sensible del signo; *segundidad/objeto*, categoría donde se establecen las relaciones de alteridad y referencialidad en relación con aquello que es representado; y finalmente *terceridad/interpretante*, que constituye la idea de composición, es la categoría de la ley y la convención en la cual se establece la significación. La significación o semiosis del signo se realiza sobre la base de las interconexiones que se establecen entre estos tres correlatos; pero, es el nivel de terceridad la condición necesaria para que el signo funcione como tal.

En esta orientación, para Peirce la semiosis es la etapa final de un signo, la condición necesaria de posibilidad que se realiza cuando un signo asume su

---

<sup>41</sup> Peirce, Ch. S. *Escritos...* p. 200.

<sup>42</sup> Recordar que para Peirce, si un signo es diferente de su objeto debe existir alguna explicación, argumento o contexto que determine cómo es que el signo representa al objeto. Surge entonces un proceso de sentido: donde signo y objeto constituyen otro signo; un proceso episódico y progresivo donde se generan signos más amplios.

carácter representativo<sup>43</sup> frente a un interpretante. En este sentido es denominada también como la significación: la relación entre la forma sensible del signo y su objeto de referencia, que está determinada por una convención o ley dentro de un proceso continuo y cambiante. De ahí que, los signos están en una relación de dependencia significativa entre sí y en un constante proceso de transformación de sus contenidos.

Con ello, si las representaciones cognitivas forman parte del contenido de los signos, y estos están en una mutua relación de interdependencia y transformación significativas; entonces, el desarrollo social de un lenguaje está determinado por un movimiento de “semiosis infinita”, en la cual tanto la forma como el contenido de los diferentes signos están en sometidos a procesos cambiantes dentro de un campos social específico. Desde esta perspectiva semiótica, el signo es signo, no por su carácter representativo, es decir, no por su relación de *referencialidad* a un objeto; sino por su carácter *interpretativo*.

Luego, el carácter mismo de los signos es dinámico en tanto significan dentro de un proceso de “semiosis infinita” donde todos los signos están relacionados entre sí; un signo implica-significa otro signo, que implica a otro, sucesivamente y de manera infinita: “se trata simplemente, de que un símbolo justificaría a otro”.<sup>44</sup> El encadenamiento es el siguiente: un signo que está en el momento de la significación, cuando lo sensible y perceptible del signo (primeridad-representamen) se corresponde con el objeto de referencia (segundidad), entonces el signo mismo se vuelve una primeridad-representamen para otro signo. Simultáneamente todos los signos se continúan entre sí y, de

---

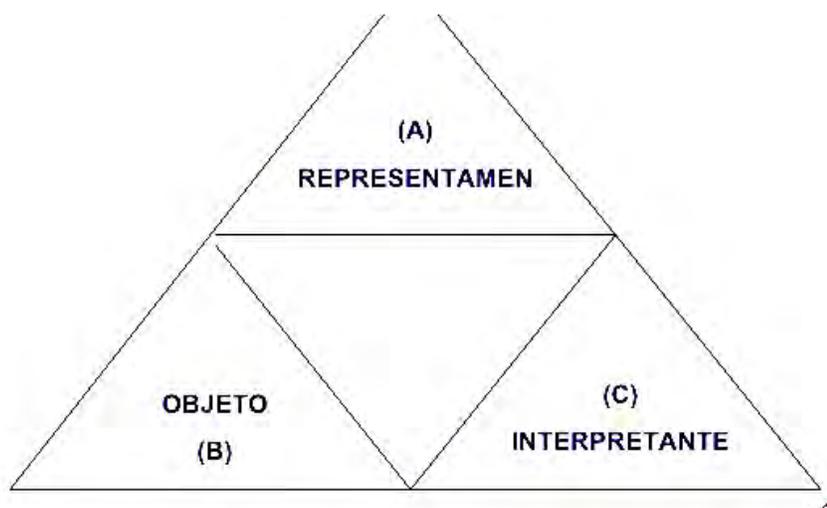
<sup>43</sup> Cabe señalar, este carácter representativo descansa en una condición hacia el futuro: es decir, que busca ser representativo para los casos posteriores, de los cuales no se sabe si se tendrá una experiencia concreta. En este sentido: “la naturaleza de una representación quiero decir que se refiere a las experiencia in futuro, de las cuales no sé si todas ellas serán experimentadas y nunca puedo saber si han sido experimentadas.” (Peirce, C. S. *Lecciones sobre pragmatismo*. 3ª edición. Argentina: Ediciones Aguilar, 1978. P. 145)

<sup>44</sup> Peirce, Ch. S. *Lecciones...* Ob. Cit. p. 147.

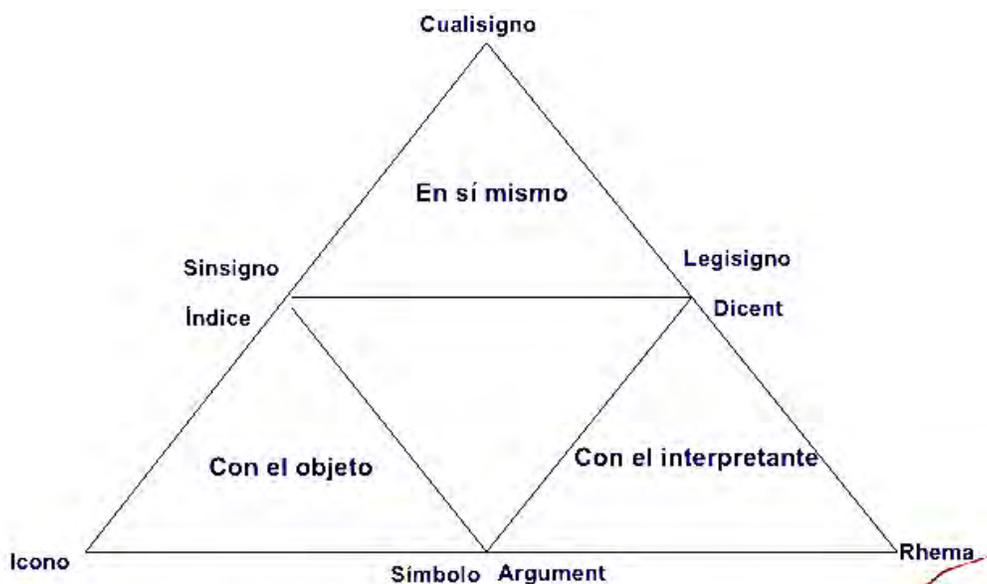
cierta manera, establecen lazos de dependencia significativa donde un signo sólo significa en relación con los demás.

### **2.1.2 Relaciones icónicas, indexicales y simbólicas**

Ahora bien, como se mencionó en las líneas anteriores los tres niveles generales de relación (primeridad, segundidad, terceridad) forman los tres correlatos que constituyen los componentes generales del signo (representamen, objeto, interpretante). Sin embargo, estas relaciones lógicas generales y sus funciones se continúan al interior de cada correlato, especificando así los niveles internos de relación y determinando los componentes categoriales que conforman el orden triádico interno.



En cada correlato se continúan al interior los niveles generales de relación; de tal suerte que cada correlato tiene una organización interna dispuesta por una triada de categorías. Por tanto, la naturaleza o carácter de cada categoría corresponde a un nivel general de relación, pero con la especificidad de cada relación triádica interna. En este sentido, las categorías peircianas son duales, o mejor dicho, responden a un doble carácter lógico. Así por ejemplo, en el correlato *Representamen*, cuyo carácter general es de primeridad, las relaciones generales se reproducen al interior y particularizan una triada de categorías: *cualisigno*, cuyo rasgo general y específico es de primeridad; *sinsigno*, en el cual lo general es de primeridad, pero el específico interno es de segundidad; y *legisigno*, que en lo general corresponde a primeridad y en lo específico a terceridad.



Empero, en el presente trabajo sólo consideraremos las relaciones de segundidad, pues el objetivo del análisis es mostrar las funciones a través de las cuales la representación del ADN refiere su objeto. Antes bien, es importante reiterar que en la segundidad también se realiza la significación, pues como se mencionó arriba las relaciones sígnicas generales se reproducen al interior de

cada componente del signo. Así, las representaciones científicas están determinadas por la función referencial que se establece en relación con el objeto representado, y por su capacidad para mostrarlo como algo que existe de manera efectiva.

En este sentido, a nivel de la segundidad Peirce plantea una tricotomía del signo en razón de la relación existencial con el objeto: el *ícono* que está clausurado por relaciones de semejanza o similitud en razón de lo sensible-perceptible; el *índice* por relaciones de contigüidad y contraste vinculadas existencialmente con el objeto de referencia; y el *símbolo* por relaciones de intencionalidad, en razón de las leyes, convenciones y creencias.

En términos más amplios, el ícono es un signo que denota su objeto en virtud de los caracteres que son propios de este último. Muestra cualquier cualidad que sea parte del objeto y, por ende, las relaciones lógicas que establece esta categoría están en razón de la semejanza o similitud con aquello que está representando: en un sentido determinante, el ícono busca reproducir las características de su objeto, pues en cierta medida es como éste y, al mismo tiempo, es utilizado como signo que lo representa.

Por otra parte, el índice es una categoría de naturaleza completamente distinta. Para significar, el ícono no requiere necesariamente de la existencia del objeto. Sin embargo, a diferencia de aquella categoría de primeridad, la característica del índice como segundidad consiste en ser afectado por aquello que representa. No representa por semejanza con alguna cualidad objetiva, sino que más bien comparte características con su objeto de referencia y, en consecuencia, si el objeto cambia entonces el índice también es modificado. Por ello, esta categoría determina relaciones lógicas de contraste en tanto denota en virtud de un contraste entre al menos dos cualidades que son comunes.

A diferencia de ambas categorías, el símbolo denota a su objeto a partir de relaciones que son determinadas a partir de una convención. Es decir, representa en razón de ciertas normas convencionales, las cuales posibilitan la asociación de

ideas generales que operan de tal modo que son causa de que el símbolo se interprete como refiriendo a un objeto. Por eso, esta categoría es de carácter general e intencional, y denota en razón de ciertas instancias existentes de aquello que está representando. De ahí que, en contraste con las categorías anteriores, el símbolo estará afectado por su objeto sólo de manera indirecta a través de otras asociaciones o normas que determinen y cambien sus relaciones referenciales.

Con la intención de ilustrar la especificidad de estas relaciones categoriales y sólo para efectos explicativos en este trabajo, se puede decir que, a nivel de lenguaje verbal, estas categorías determinarían las funciones de los siguientes elementos lingüísticos:

- Ícono: adjetivos, adverbios, complementos
- Índice: pronombres posesivos, pronombres demostrativos
- Símbolos: conceptos

En esta dirección, es importante aclarar que todo lenguaje se constituye formalmente con base en estas relaciones categoriales. Pues si bien es cierto que desde la postura pragmática la significación está en razón de un contexto y convención, empero no puede negarse la función representativa del lenguaje: a saber, referir un objeto.

Por ello, para antropólogos como Seiler<sup>45</sup> los cambios y desarrollos de un lenguaje pueden clasificarse en razón de la tricotomía peirciana (ícono, índice y símbolo), en donde los rasgos de indexicalidad y simbolización son opuestos; de tal suerte que un lenguaje altamente indexical es, por oposición, poco simbólico... y viceversa. En la parte media de esta coyuntura se encuentran las relaciones icónicas, y esto obedece al planteamiento de Peirce respecto a que todo lenguaje tiende siempre hacia la iconicidad

---

<sup>45</sup> El trabajo de Seilar fue revisado a partir de: Tapia Berrón, Mercedes. "Seiler, Peirce y el origen del Lenguaje". En José Luis Vera (coordinador). *Mente, Cultura y Evolución*. 1ª edición. México: ENAH, 2009. p. 73 y ss.

De acuerdo con esto último, Peirce habla de la posibilidad que tiene todo lenguaje de explicarse a sí mismo como manifestación del pensamiento. Acepta que todo pensamiento es “diagramático”, es decir, que todo pensamiento ocurre y se desarrolla a partir de signos; y en este sentido, todo lenguaje para poderse explicar a sí mismo requiere ser diagramático. El diagrama es una de las formas concretas de la iconicidad, por ello, pese a su carácter simbólico o indexical, el lenguaje para ser explicado debe recurrir a su estado icónico: para generar una representación de sí mismo que permita explicar por analogía un dominio de conocimiento (simbólico o indexical) por otro dominio de carácter más figurativo (icónico). Por ello, “el único modo de comunicar directamente una idea es por medio de un icono, y cada método indirecto de comunicar una idea debe depender, para ser establecido, del uso de un icono. Por tanto, toda afirmación debe contener un icono o conjunto de iconos, o bien debe contener signos cuyo significado sea explicable sólo mediante iconos. La idea que el conjunto de iconos (o el equivalente a un conjunto de iconos) contenido en una afirmación significa puede denominarse predicado de la afirmación.”<sup>46</sup>

### **2.1.3 Íconos y metáforas: relaciones de semejanza**

En el sentido de la teoría peirciana, el ícono está en lugar de algo por el sólo hecho de que se asemeja a aquello que representa. Sin embargo, la semejanza implica que no todas las cualidades del objeto representado están presentes en el signo. Por ello, el signo icónico sólo es similar al objeto y reproduce sólo algunas de sus cualidades, con lo cual representa una parte de la realidad del mundo, convirtiendo la contingencia perceptible en una imagen comunicable.

Así pues, cuando el signo icónico sólo representa por medio de similaridad con prescindencia del modo de ser del objeto, y en su cualidad de representamen —a saber, en tanto forma perceptible como primeridad—, entonces para Peirce el

---

<sup>46</sup> Peirce, Ch. S. *La ciencia semiótica*. Buenos Aires: Nueva Visión, 1974. P. 47.

ícono puede denominarse como “hipoícono”. Es por esto que “cualquier imagen material, como una pintura, es ampliamente convencional en su modo de representación, pero en sí misma, sin ninguna leyenda o rótulo, puede denominarse un hipoícono”.<sup>47</sup>

De acuerdo con este planteamiento semiótico, los hipoíconos pueden dividirse en tres componentes, de acuerdo con el tipo de primeridad y relación de semejanza que los constituye: en *imágenes*, cuando se refiere a aquellos signos que comparten sólo cualidades simples (cualidades sensibles); *diagramas*, aquellos que representan relaciones diádicas entre cualidades por medio de analogías; y *metáforas*, que implica aquellos signos cuya semejanza establece una relación de paralelismo con su objeto.

Estas formas específicas en que se realiza la semejanza, de acuerdo con el tipo de primeridad, nos obliga a hacer algunos comentarios en torno de este tipo de relación. De acuerdo con Umberto Eco<sup>48</sup>, la semejanza nos lleva a considerar cuáles son los rasgos pertinentes que se están relacionando, para llegar a definir el rasgo específico que permite establecer el vínculo de semejanza entre signo y objeto.

Para Max Black<sup>49</sup>, la semejanza puede realizarse en dos niveles: de la semejanza establecida a través de la comparación, esto es por co-presencia o confrontación entre el signo y el objeto representado; o bien, por analogía, ya sea material o convencional, y en la cual se muestran los rasgos generales o particulares que permiten sostener un vínculo formal. En este sentido, las relaciones de semejanza tiene un valor cognoscitivo, pues permite construir una imagen de la realidad en tanto proporción de ésta, y que posibilita generar un conocimiento a partir de ahí.

---

<sup>47</sup> Peirce, Ch. S. *idem*.

<sup>48</sup> Cfr. Eco, Umberto. *Tratado de Semiótica General*. Trad. Carlos Manzano. Barcelona: Nueva Imagen, 2000.

<sup>49</sup> Cfr. Black, M. *Models and Metaphors: studies in language and philosophy*. 1a edición. Ithaca: Cornell University Press, 1962

El valor epistemológico de la semejanza radica en la posibilidad de establecer relaciones de identidad, entre la representación y lo representado, con lo cual el ícono se constituye en el medio de carácter cualitativo a través del cual se puede establecer la ausencia de copresencia<sup>50</sup>. En otras palabras, la semejanza o similitud no implica la existencia empírica del objeto, en tanto el signo icónico puede referirse a un objeto imaginado o aún inimaginable, la similaridad e identidad permanece vigente aun cuando no haya alguna realidad perceptible como referencia.

En términos de Peirce, el ícono permite establecer analogías, pero éstas se afirman sólo de manera hipotética: el signo icónico nos lleva a descubrir, mediante su observación, nuevos rasgos y relaciones que no estaban en principio planteados en la semejanza e identidad. Una idea posible, en este sentido, tiene una función icónica en tanto acerca hacia un nuevo conocimiento. Por ello, la copresencia no resulta necesaria, pues el carácter icónico sólo asume su relación como un supuesto, como una hipótesis posible acerca de un estado de cosas.

## **2.2 Modelos y Metáforas**

Desde un punto de vista semiótico, las relaciones de semejanza posibilitan en una medida importante el desarrollo del conocimiento. Para Tomás Maldonado<sup>51</sup>, la ciencia moderna apoya buena parte de sus avances en ideas de modelización, simulación, categorización y clasificación apoyadas en la semejanza; que varía de acuerdo con la precisión técnica.

Como se revisó en el apartado anterior, la metáfora es un signo icónico y desde ahí establece relaciones epistemológicas muy específicas a partir de la similitud y semejanza. De acuerdo con A. Greimas<sup>52</sup>, la iconicidad es uno de los mecanismos de los que se sirve un discurso para producir una determinada “ilusión de realidad”, un efecto referencial. En este sentido, es uno de los

---

<sup>50</sup> Para ampliar la discusión acerca de la semejanza, cfr. Zunzunegui, Santos. *Pensar la imagen*. Madrid: Cátedra, 1989. Pp. 64 y ss.

<sup>51</sup> Ver: Maldonado, T. *Vanguardia y racionalidad*. Barcelona: Gustavo Gili, 1975.

<sup>52</sup> Revisar: Greimas, A. y Courtes, J. *Semiótica. Diccionario razonado de la teoría del lenguaje*. Madrid: Gredos, 1982.

procedimientos a través de los cuales el recorrido generativo del sentido da lugar a la aparición de nuevas manifestaciones “figurativas” (opuestas a las abstractas) a través de la conversión de los temas en figuras (ilusión referencial).

No obstante, el estudio de las metáforas está más próximo a la pragmática que a la semántica: pues, en palabras de Black, el significado metafórico no puede determinarse a través de las reglas del lenguaje, sino que hay que considerar los contextos, marcos, situaciones, etc... Finalmente, para este autor, los modelos funcionan como metáforas, sólo que en relación con la teoría científica. De suerte que, al igual que las metáforas y su relación con el lenguaje natural, el modelo plantea “proporciones relativas” entre la representación y lo representado; de manera que no son representaciones fieles, sino que establecen analogías sólo con algunos rasgos pertinentes que son representados. En todo caso, la función significativa tanto de modelos como de metáforas se determina en razón de las convenciones subyacentes de interpretación, las cuales muestran las maneras debidas en que un modelo/metáfora debe ser leído.

### ***2.2.1 Funciones de representación***

Así pues, para Black los modelos funcionan como metáforas, sólo que en relación con las teorías científicas. Es decir, para este autor los modelos son un tipo particular de relación metafórica. Desde este punto de vista, resulta importante ahora revisar los componentes de las metáforas para entender las funciones de representación en ambas nociones.

La estructura pragmática de la metáfora permite distinguir dos elementos, pues en una oración hay al menos un elemento que funciona metafóricamente y uno que tiene un valor literal. De acuerdo con Black, la metáfora está constituida por un término metafórico o “foco de la metáfora”, y componentes de la secuencia que no son metafóricos, o también denominados “términos marco”. La función

Foco-Marco que caracteriza el uso metafórico se establece bajo los criterios establecidos a partir de un contexto de uso, dentro de un sistema dado. Por ello, para determinar cuándo un Foco es metafórico en relación con un Marco (1) y no un Marco (2) hay que considerar “las intenciones del hablante”.<sup>53</sup>

Por ello, la metáfora —y en consecuencia el modelo— tiene un carácter “interactivo”<sup>54</sup>: donde la relación de analogía entre dos términos implica que los pensamientos que subyacen en cada término están en “actividad simultánea” y, por medio de esta interacción, dan lugar a un significado nuevo. Esta interacción ocurre dentro de un contexto determinado, en donde el “término focal” adquiere un nuevo sentido en relación con un nuevo contexto de uso que funciona como marco. Por lo tanto, dentro de esta dinámica de uso, el término focal se ve “forzado” a extender su significado.

En consecuencia, si bien un término puede significar en relación con un sistema de afirmaciones verdaderas que están en relación con el objeto referido como contenido de ese mismo término (sistema de tópicos), en el caso del término metafórico este funciona significativamente por medio de su “poder evocador”. No es importante si el término es verdadero o falso, sino que tenga la capacidad de evocar por espontaneidad un significado que no está circunscrito a las reglas del lenguaje. De ahí que el uso metafórico tiene la fuerza suficiente para evocar el “sistema de lugares comunes”, que es relativo al sistema del lenguaje del término específico y a la cultura propia de ese lenguaje.

Los usos metafóricos de los términos obligan, no sólo a la extensión del sentido, sino que además conduce al hablante a construir un sistema nuevo de sentido que esté en relación con el asunto o tema principal desarrollado en la

---

<sup>53</sup> Cfr. Black, Max. *Models and Metaphors: studies in language and philosophy*. 1a edición. Ithaca: Cornell University Press, 1962. Pp. 46 y ss.

<sup>54</sup> De acuerdo con Black, la metáfora como interacción es una propuesta más sólida que busca superar las insuficiencias de los enfoques “sustitutivo” y “comparativo”. Estos últimos plantean la relación de semejanza a partir de las propias reglas del lenguaje y de su estructura lógica dentro de un sistema de equivalencias; mientras que el enfoque interactivo considera la relación metafórica como una relación entre pensamientos dentro de un contexto específico.

metáfora. Por ello, “la metáfora organiza nuestra visión sobre algo”<sup>55</sup>; pues establece las nuevas implicaciones semánticas generadas por el uso de una metáfora dentro de un marco específico (contexto).

No obstante, en cuanto a su estructura interna, la metáfora establece la relación entre un asunto-tema principal y un término-focal-metafórico. De suerte que sólo se destacarán aquellos rasgos del término principal que puedan referirse dentro del lenguaje metafórico. Al respecto, el ejemplo de Black es el siguiente:

### **“El Hombre ES un Lobo”**

Donde Hombre es el tema principal y Lobo el término focal; unidos por el vínculo copulativo (ES) que determina el juicio como relación entre términos de naturaleza diferente.

La función metafórica opera aplicando al tema-principal un sistema de tópicos implicados y característicos del término-focal: de donde se sigue que, el término Hombre (ser racional, varón) se vincula con algunos de los tópicos que constituyen el término Lobo (salvaje, carnicero, dañino). La metáfora ocurre, entonces, cuando a) se da una asociación efectiva con los tópicos del término focal; o b) cuando surgen implicaciones divergentes establecidas *ad hoc* por el autor-hablante.

Así, la metáfora organiza, selecciona y suprime los rasgos característicos del tema-principal al aplicar enunciados sobre éste; enunciados que en principio y dentro de un “uso regular” del lenguaje derivan del sistema de tópicos del término-focal. En este proceso de asociación ocurren entonces desplazamientos de significado, pero que no conforman desplazamientos lógicos en virtud de un sistema de lenguaje.

Ahora bien, los modelos son casos específicos de metáforas que surgen en relación con un lenguaje teórico o científico. Desde la perspectiva pragmática de Black, se pueden identificar diferentes tipos de modelos. A saber, el *modelo a*

---

<sup>55</sup> Black, Max. Ob. Cit. p. 50

*escala* como un tipo de metáfora que conserva proporciones relativas con su objeto de referencia y, en ese sentido, establece una identidad parcial con aquello que representa. Otra forma específica es el *modelo matemático*, en cuyo carácter descriptivo se establecen relaciones de analogía donde las ecuaciones matemáticas se refieren a un mecanismo invisible y su funcionamiento abstracto ejemplifica el funcionamiento del sistema concreto (social, económico, teórico...) al que se aplica.

Pero, en un sentido más amplio, interesa aquí resaltar dos tipos de modelo que tienen un valor predominante para la construcción del conocimiento científico. Por un lado, el *modelo teórico*, que es de naturaleza explicativo-causal, y que tiende a describir entidades que pertenecen a un dominio secundario relativamente no problemático (nuevo dominio de aplicación). En este sentido, busca explicar los hechos y encontrar sus regularidades en términos de un cuerpo de conocimientos ya establecido (dominio primario); por eso, busca extender el corpus anterior de conocimientos, o bien, vincular el corpus anterior con otras esferas de conocimiento hasta ahora ajenas a esos hechos (secundarias).

Esto implica establecer “reglas de traducción” (explícitas o implícitas) que permitan establecer enunciados acerca del dominio secundario. Luego, esta traducción se realiza por medio de “reglas de correlación” que permiten hacer la traducción de inferencias hechas en el campo secundario. Este tipo de modelos usan un lenguaje apropiado al campo de aplicación: puesto que no son modelos construidos, su uso implica introducir un nuevo lenguaje, que es en principio sugerido por una teoría ya conocida, pero que se amplía a un nuevo dominio de aplicación (secundario).

El otro modelo que resulta interesante es el *modelo analógico*, el cual sólo reproduce la estructura del original que representa. Es decir, este modelo establece relaciones de analogía donde la identidad en la estructura o configuración de relaciones es compatible con la variación de contenido. Por ello, un modelo analógico es “cualquier objeto material, sistema o proceso destinado a

reproducir, de la manera más fiel posible en otro medio, la estructura o trama de relaciones del original.”<sup>56</sup>

Por lo tanto, este modelo manifiesta una relación de correspondencia biunívoca entre las relaciones estructurales incorporadas dentro del propio modelo y las existentes en el original. El asunto es, en todo caso, establecer reglas de representación y traducción de la terminología aplicable al modelo, con la intención de conservar los valores veritativos de los términos analogados. Así, las relaciones de analogía permiten establecer “isomorfismos” a nivel estructural: es decir, se establecen relaciones de identidad, correspondencia y proporción en los componentes y funciones que constituyen la estructura y configuración del modelo, en relación con el original.

De ahí que la identidad de estructura no sólo sea compatible con la variación más grande de contenido —y esto permite una posibilidad infinita de construir modelos analógicos—, sino que además, la capacidad de incorporar la estructura del original a la estructura del modelo permite desarrollar una amplia variedad de medios para establecer representaciones modelísticas.

### **2.2.2 Funciones epistemológicas**

Desde Peirce, la función significativa de los modelos y metáforas está vinculada con relaciones de disposición icónica. A nivel epistemológico, y desde una postura de filosofía de la ciencia, las funciones icónicas de las representaciones científicas permiten establecer conjeturas y afirmaciones hipotéticas respecto a algún estado de cosas posible en el orden de la naturaleza. Pero además, tienen una función heurística: hacen plausible la existencia de entidades que en principio no se muestran al conocimiento humano a través de la experiencia perceptual.

---

<sup>56</sup> Black, M. Ob. Cit. p. 219.

En relación con el conocimiento teórico, para D. Davidson<sup>57</sup> el icono posee una función metafórico-cognitivo, se caracteriza por un rendimiento heurístico por cuanto permite explicar analógicamente un dominio nuevo o poco definido, pero en razón de un dominio conocido. En este sentido, los modelos y metáforas en la ciencia constituyen un nivel importante en el desarrollo del conocimiento científico, pues conforman representaciones cognoscitivas cuya función epistemológica está en la formulación de explicaciones a partir de procesos de imaginación e intuición.

Por ello, desde la postura pragmática de Black la articulación metafórica de significados es la condición inicial para el desarrollo de la capacidad de indagación. Al establecer vínculos asociativos y continuidades isomórficas, estas representaciones no muestran descripciones literales, sino que en todo caso establecen un diagrama o imagen sobre la cuál el pensamiento diagramático puede trabajar abductivamente, es decir, sobre la base de signos y analogías el pensamiento puede comenzar a intuir posibles explicaciones y sentidos sobre objetos que son externos a su conciencia. Por supuesto, un punto problemático en relación con la construcción de modelos es la cuestión de la reducción. Por un lado, se reduce la complejidad de los fenómenos al ámbito de la experiencia humana; lo que para Brown<sup>58</sup> sería, en términos de estudios moleculares, observar y representar las propiedades microscópicas en razón de las propiedades macroscópicas. Esta aparente reducción, sin embargo, tiene un valor cognitivo fundamental: posibilita expresar un conocimiento sobre la naturaleza que en principio está más allá de los alcances de la propia experiencia humana.

Por otro lado, se puede cuestionar que tanto metáforas como modelos reducen la posibilidad de un vocabulario nuevo que dé cuenta de las características propias del nuevo fenómeno, al circunscribir las explicaciones teóricas al lenguaje científico ya conocido y aprobado. No obstante, es esta cualidad la que precisamente permite la extensión de significados, pues como se

---

<sup>57</sup> Cfr. Davidson, Donald. *Inquiries into Truth and Interpretation*. Reino Unido: Clarendon Press Oxford, 2001.

<sup>58</sup> Cfr. Brown, Theodore. *Making Truth. Metaphor in Science*. Estados Unidos: University of Illinois Press, 2003

mostró en el apartado anterior, las relaciones de analogía y semejanza en la estructura de las metáforas permiten la interacción entre pensamientos, en donde un término principal extiende su dominio hacia el dominio de un término metafórico. Con ello, el lenguaje se constituye como un sistema dinámico cambiante, que permite la inclusión permanente de nuevos términos y asociaciones que den cuenta de mejor manera de los nuevos fenómenos.

Si consideramos la postura semiótico-pragmática de Peirce, las metáforas y modelos tienen un valor abductivo, en tanto permiten establecer inferencias hipotéticas que den explicaciones plausibles sobre los hechos del mundo. Pero, si hacemos una extensión de esta afirmación, sin duda podríamos sostener que, en general, las hipótesis científicas funcionan de manera metafórica o modelística: pues sobre hechos que son desconocidos proyectan un orden de relaciones que se plantea sobre la base de teorías o conceptos ya conocidos. Esto permite iniciar un proceso inferencial sobre el cual no se pueden generar afirmaciones contundentes, sino sólo conjeturas que pueden ser aceptables, plausibles o refutables.

Pero además, los modelos en particular tienen otra función específica, derivada de su carácter abductivo y reduccionista. Al reducir la complejidad fenomenológica hacia la posibilidad de la experiencia humana, los modelos no sólo hacen plausible la existencia de una entidad, sino que transforman los hechos en experiencia concretas que pueden ser manipulables. A la manera de Ian Hacking<sup>59</sup>, los modelos tienen dos funciones: reconstruyen los objetos de la experiencia para convertirlos en objetos de científicos; y además caracterizan en términos más sencillos la complejidad de la teoría. En relación con la primera acepción, los modelos construyen las entidades en términos de una experiencia humana, que puede ser medible y manipulable; es decir, que configuran la existencia de una entidad compleja que va más allá de la experiencia humana, y la delimitan con los parámetros del conocimiento científico.

---

<sup>59</sup> Ver: Hacking, Ian. *Representar e Intervenir* 1a. edición en español. UNAM/Paidós, 1996

Para Beuchot, y en términos semióticos, los modelos como representaciones científicas de alguna entidad implican establecer relaciones de proporción: pues la analogía nos refiere la proporción de cualidades que están vinculadas con el objeto. Por ello, al reconstruir y modelar entidades, los modelos funcionan de manera icónica. Esto permite al científico tener a la mano una representación “como si”<sup>60</sup> fuera la entidad real, y a través de este modelo busca “intervenir” sobre las entidades que son ahora cercanas al conocimiento humano.

Y no sólo muestran objetos y entidades, sino que además tienen una función explicativa, en tanto caracterizan y ejemplifican casos concretos de la teoría científica. En ese sentido, los modelos y las metáforas constituyen esquemas explicativos que ilustran los conceptos y las relaciones abstractas de la teoría aplicada a un caso. Esta función es, para Beuchot, de naturaleza indexical pues al objeto se le atribuye una explicación de tipo causal: pues al efecto (hecho) representado se le atribuye explicativamente una causa proporcionada por la teoría<sup>61</sup>. De acuerdo con lo anterior, para Hacking las representaciones tienen la función de ser medios que vehicular contenidos teóricos pues “los modelos (y las metáforas por extensión) son intermediarios, extraen algunos aspectos de los fenómenos reales y los conectan, por medios de estructuras matemáticas simplificadoras a las teorías que gobiernan los fenómenos.”<sup>62</sup>

---

<sup>60</sup> Término utilizado por T. Brown para referir la función de los modelos moleculares. Cfr. Brown, T. Ob. Cit. pp. 118 y ss.

<sup>61</sup> Cfr. Beuchot, M. *Epistemología y Hermenéutica analógica*. 1ª edición. México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2011. pp. 86 y ss.

<sup>62</sup> Hacking, I. Ob. Cit. p.246

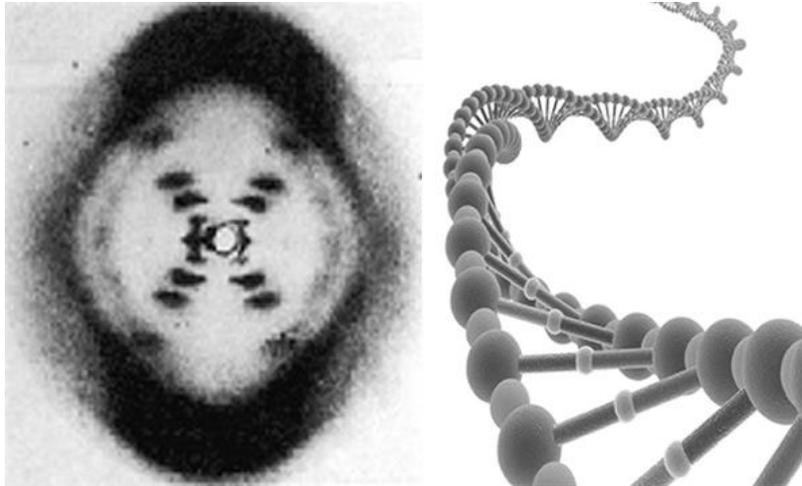
### **2.3 Análisis semiótico de la representación del ADN**

En este apartado se realizará de manera concreta el análisis semiótico de la representación científica del ADN. Por supuesto, un estudio de este tipo recurre al examen de la forma significativa, por lo cual sólo se indagará sobre la configuración visual de la propuesta planteada por Watson y Crick, con la intención de mostrar la conformación de su representación. Por ello, no es menester aquí dar cuenta de la descripción de bioquímica de dicha construcción modelar, la cual no sólo está desarrollada ampliamente en diversos libros de biología y bioquímica, sino que además en el capítulo I de este trabajo ya se incluye una breve descripción.

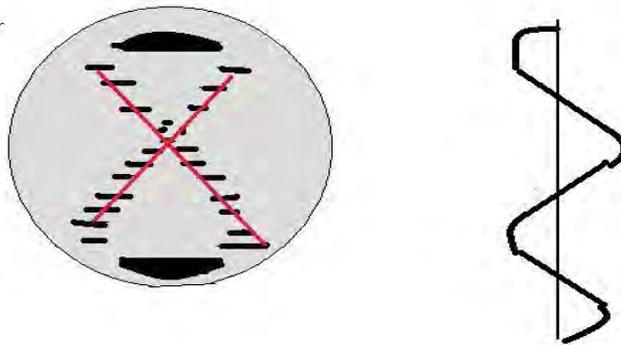
La intención entonces, no es describir lo que ya está descrito en múltiples textos, incluyendo las relatorías de Watson y Crick sobre los pasos metodológicos que siguieron para llegar a su propuesta; sino, más bien, la pretensión está en poder analizar desde la teoría semiótica las funciones bioquímicas y fundamentos teóricos que sustentan el modelo del ADN.

#### **2.3.1 Introducción: manufactura semiótica de una entidad no observable**

Como se ha mencionado antes en la introducción, el problema semiótico consiste en la transposición de elementos de una representación visual a otra. En particular, se busca mostrar las funciones semióticas que conformaron la estructura de la doble hélice a partir de las evidencias fotográficas tomadas por Rosalind Franklin y Maurice Wilkins. En términos visuales, el problema es la conformación y paso de una representación a otra de suerte que se construye un espacio topológico específico que en principio no evidente en las dimensiones fotográficas.

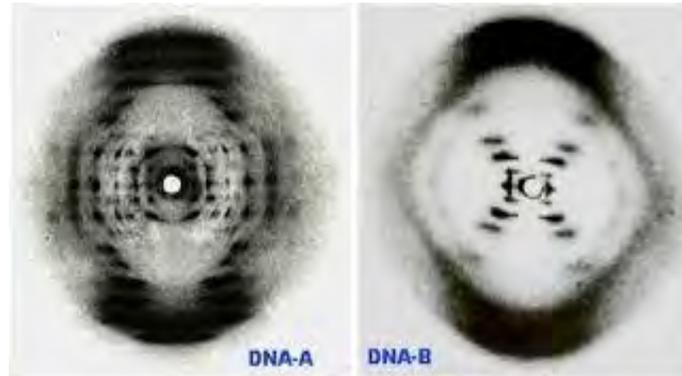


De manera más esquemática, el problema está en desarrollar y derivar una configuración visual tridimensional a partir de la bidimensionalidad de una fotografía. Lo que en términos visuales se muestra en la siguiente imagen:



En concreto, sería la forma B de las fotografías de Franklin la evidencia determinante para sugerir la doble hélice como la estructura más adecuada del ADN. Pues, de acuerdo con Watson, la forma A de las fotografías no permitía establecer de manera clara la configuración del ADN. Sin embargo, aún antes de la presentación de la fotografía B, la intuición de los científicos era que la forma estructural del ADN era necesariamente helicoidal. Esta inferencia circunstancial

tenía como base la analogía con la estructura helicoidal de las proteínas, ya sugerida y argumentada por Pauling en sus análisis cristalográficos.



En este proceso, cabe señalar la clara oposición de Franklin: pues sus estudios sobre difracción de rayos X en moléculas de ácido desoxirribonucleico no sugerían en modo alguno la forma helicoidal. La inferencia helicoidal de Watson y Crick, aún sin tener evidencia empírica que fundamentara esta afirmación, se produjo por efecto de la semejanza asumida con la forma estructural propuesta en el modelo helicoidal de Pauling. En tanto el ADN como las proteínas constituyen macromoléculas, resulta consecuente suponer que ambas podrían tener la misma forma.

Pero en particular, el carácter regular de la forma helicoidal —constituida por puentes de hidrógeno y fuerzas de atracción— respondía a los principios e intereses del conocimiento que constituían a la comunidad científica de ese momento. La clara influencia de la física cuántica y su interés por los estudios de partículas, así como los avances en la química estructural establecieron las condiciones epistemológicas para desarrollar una representación tridimensional de una molécula.

De acuerdo con lo anterior, la configuración tridimensional de una partícula sólo podría tener sentido al interior de una “cultura epistémica”, que en tanto

estructura establece un campo de referencia sobre el cual se establecen los arreglos y mecanismos que componen “cómo sabemos lo que sabemos”<sup>63</sup>. La posibilidad de interpretar una representación visual de una entidad teórica —o si se prefiere, una entidad que va más allá de la visualidad en la experiencia común—, está determinada por una cultura epistémica que crea u ordena el conocimiento a través de procesos simbólicos. Estas culturas configuran aquello que puede ser conocido a partir de la heterogeneidad de saberes donde cada cultura establece vínculos, en relación con el conocimiento tradicional que conforma su historia y las posibles contradicciones planteadas entre ese conocimiento y la experiencia nueva.

El significado de la estructura del ADN y su contenido epistemológico se afirman dentro de un ámbito de conocimiento como la física cuántica y su interés por el estudio de partículas: esta forma de conocimiento revitalizó una parte de la tradición occidental interesada por las unidades mínimas que componen el universo —ejemplo de ello son el atomismo de Leucipo o la teoría monádica de Leibniz. En este contexto, los principios de la ciencia moderna, pero enfocados ahora al universo microscópico, darían como resultado interpretaciones simbólicas interesantes sobre la estructura del ADN.

Una vez resuelta la regularidad de estructura a partir de fundamentos químicos (regularidad y permanencia de puentes de hidrógeno) y físico cuánticos (fuerzas de atracción), la “ley de la conservación de la materia” llevaría a algunos biólogos y científicos —incluyendo al mismo Watson— a considerar que la replicación estable de la molécula del ADN la convertía en una partícula “inmortal”. Las tendencias biológicas del momento interpretarían la función de replicación como “el principio de la vida”; con lo cual se redefinió el concepto mismo de “vida” en razón de funciones bioquímicas. La simetría estructural de la doble hélice y el carácter de la molécula como unidad mínima llevaría a algunos biólogos como

---

<sup>63</sup> Knorr-Cetina, Karin. *Epistemic Cultures. How the Sciences Make Knowledge*. Cambridge : Harvard University Press, 1999. P. 5

John Griffith a hablar del “principio biológico perfecto”<sup>64</sup>. A manera de ejemplo, estas afirmaciones muestran el proceso simbólico a través del cual se establecen lazos de sentido con las tradiciones científica, religiosa y social que constituyen el conocimiento en un determinado momento histórico.

Los postulados estereoquímicos y cristalográficos que plantean la tridimensionalidad de las partículas moleculares serían llevados, en tanto parte de la tradición científica, al nivel de axiomas: no se cuestiona, desde esta tradición, si los objetos microscópicos tienen o no estructura o espacialidad; sino que se aceptan estas cualidades teóricas como características inherentes a las partículas. Por supuesto, los métodos de laboratorio, las técnicas de difracción de rayos X, las lecturas matemáticas para traducir gráficamente fotografías, y el uso de modelos estándar de representación molecular, constituyen parte de una cultura epistémica que establece los “mecanismos” necesarios para observar algo de una manera y no de otra.

De acuerdo con Knorr-Cetina, estos espacios de investigación constituyen también “unidades epistémicas” en las cuales se construyen los objetos de la naturaleza como signos. Se asiste entonces a un proceso de transformación semiótica en el cual el objeto es transformado en signo-objeto, es decir, es traducido en una representación que puede ser conocida e interpretada. En esta dirección, los laboratorios o institutos de investigación conforman ámbitos sociales en los cuales los objetos-naturales son instalados en un campo de fenómenos definidos por agentes sociales; son extraídos del mundo de la naturaleza para redefinirlos como signos de una determinada sociedad.

La manufactura o construcción de representaciones científicas, en tanto signos, consiste entonces en la configuración social del objeto, donde un colectivo establece condiciones específicas para determinar una práctica científica. Por eso, “en este caso los objetos no se reconfiguran como no interfiriendo con eventos de la naturaleza o como ingredientes materiales degradables de

---

<sup>64</sup> Citado y referido en Watson, J. *La doble hélice*. Trad. María Luisa Rodríguez. 3ª edición. España: Editorial Alianza, 2011

programas de procesamiento, sino como signos”<sup>65</sup>, es decir, como formas o representaciones de conocimiento social.

No obstante, el proceso no es unidimensional. Existe una diversidad de configuraciones acerca de los mismos objetos de la naturaleza, y esto debido a que los espacios de investigación son ámbitos sociales que al exterior son valorados de diferente manera por diversas sociedades. Por eso el sentido de una representación como el ADN no sólo está depositado en la continuidad y desarrollo de las tradiciones de pensamiento. Sino que además implica los diferentes conflictos sociales que influyeron en la configuración tridimensional. La competencia con las universidades de Estados Unidos (cuyas empresas de investigación en el área eran dirigidas por Pauling); la falta de apoyo económico e interés al proyecto del ADN en Inglaterra; los conflictos teóricos con Rosalind Franklin<sup>66</sup> en las lecturas cristalográficas; y, fundamentalmente, el error inesperado de Pauling<sup>67</sup> en su propuesta de modelo del ADN son variables sociales (entre muchas otras relacionadas por Watson<sup>68</sup>) que contribuyeron en la construcción de la representación teórica del ADN.

A fin de cuentas, los laboratorios e institutos de investigación son espacios donde surgen las diferencias sociales y las diferencias teórico-técnicas que

---

<sup>65</sup> Knorr-Cetina. Ob. Cit. p. 39

<sup>66</sup> De acuerdo con la relatoría de James Watson, para Franklin la lectura de una estructura helicoidal resultaba problemática. Desde su perspectiva como química, resultaba imposible determinar de manera coherente la estructura del ADN como una estructura helicoidal. La oposición teórica con Franklin resultó clara: para Franklin había que seguir investigando sobre la base de las evidencias fotográficas y sobre sus procesos de lectura y difracción; mientras que para Wilkins, Watson y Crick el camino era inferencial, es decir, había que suponer antes de la evidencia empírica la estructura helicoidal. La posición de Franklin en el laboratorio de cristalografía del King's College en Londres, impidió muchos de los avances sugeridos por Watson y Crick.

<sup>67</sup> En la carrera por encontrar la estructura del ADN, Pauling presentó antes un modelo de tres hélices que violaba ciertas reglas de estructura química. Específicamente, los grupos de fosfatos no estaban ionizados y, por tanto, los enlaces estructurales del modelo de Pauling no eran regulares. Al no tener una carga neta en los enlaces de hidrógeno, “los enlaces se soltarían y la estructura desaparecería” (Véase: Watson, J. *La doble hélice*. Trad. María Luisa Rodríguez. 3ª edición. España: Editorial Alianza, 2011).

<sup>68</sup> Para revisar la relatoría acerca del proceso de conformación del ADN, véanse: Watson, J. *ADN. El secreto de la vida*. Trad. Irene Cifuentes. 5ª edición. España: Taurus, 2006 y del mismo autor *La doble hélice*. Trad. María Luisa Rodríguez. 3ª edición. España: Editorial Alianza, 2011. Además, la relatoría se complementó con la revisión de los textos de Francis Crick, aunque propiamente la fuente de consulta básica fue Watson. Sobre Crick, revisar: Crick, F. *Of molecules and men*. Seattle: University of Washington, 1976; y *La vida misma: su origen y naturaleza*. Trad. José Ramón Pérez. México: FCE, 1985.

constituyen la base del conocimiento científico. Estas diferencias plantean diversos campos en la ciencia, que se traducen en diferentes culturas epistémicas. Por tanto, no es el científico aislado un sujeto epistémico, sino que éste se encuentra rodeado de un campo social que lo constituye como agente. De ahí que, los objetos de estudio de la ciencia, no son más que el resultado de un proceso de “enculturación”: donde los objetos de la naturaleza están sujetos a una “revisión social”, y son transformados en signos de una determinada cultura, de donde se derivan efectos epistémicos (efectos de conocimiento) de nuevas situaciones.

### ***2.3.2 Configuración visual del ADN y su función indexical***

#### *Una entidad no observable*

En un breve recorrido por la historia de la genética y la biología molecular, las diferentes referencias históricas muestran algunos planteamientos teóricos que presuponen la existencia de una entidad biológica cuya función está en determinar la continuidad y diferencia de ciertos rasgos fisiológicos visibles (rasgos fenotípicos) en los organismos. Sin embargo, desde los estudios iniciales, este supuesto no tenía alguna correspondencia empírica, y sólo se sustentaba en las inferencias hipotéticas que surgían de los cambios fenotípicos.

A mediados del siglo XIX, Mendel trabajaría sobre la base de los cambios de fenotípicos presentes en las polinizaciones entre plantas de chícharos con diferentes rasgos (semillas lisas y rugosas, tallo alto y tallo corto, etc). La cruce entre diversas variedades de plantas le permitió observar la presencia de ciertos caracteres que de una generación a otra desaparecían; pero que reaparecían en proporciones constantes en las siguientes generaciones. A partir de estos cambios observables, Mendel planteó una dicotomía: los rasgos que desaparecían (al menos por cierto tiempo) serían denominados “recesivos”; mientras que aquellos que permanecían constantes y se continuaban de manera visible de una generación a otra serían “dominantes”. Sobre la base de sus observaciones,

propuso dos generalizaciones: la ley de la segregación, que se refiere a la separación de los elementos durante la formación de los gametos; y la ley de la herencia independiente, donde plantea que no existe una correlación específica entre los fenotipos.

Los trabajos posteriores a Mendel tratarían de aplicar las leyes mendelianas a los estudios observables de fenotipos. Los estudios en botánica, realizados por Sutton, Johannsen e East, estudiaron el problema de la herencia sobre la base de estudios en semillas, y observaron los cambios de forma y textura para determinar deductivamente la aplicabilidad universal de las leyes de la herencia. En última instancia, lograron establecer a los cromosomas como los portadores del material genético. De tal suerte que, de los cambios observables resultado de las cruizas entre especies, planteaban inferencias respecto al proceso no observable descrito en las leyes: “si los cromosomas son los portadores de elementos hereditarios... podemos suponer que cuando los cromosomas se separan, llevando los genes consigo, cada elemento del par pasa a células diferentes y, por lo tanto, cada célula lleve sólo un elemento del par.”<sup>69</sup>

Los mecanismos de la herencia serían finalmente determinados por los estudios de Thomas Morgan y su grupo de colaboradores, a partir de sus estudios en moscas. Sus investigaciones acerca de los cambios generacionales que sufrían las moscas cultivadas en frascos de vidrio le permitió afirmar que los genes —los elementos a los que se habían referido los estudios de Mendel— formaban parte de los cromosomas (bastoncillos que estaban en el núcleo de las células) y en este sentido se podían localizar los genes dentro de cada cromosoma. Sin duda, esta afirmación tuvo eco en la imaginación científica al hablar de la posibilidad de construir “mapas genéticos” en los cuales se puede especificar la localización de los genes de acuerdo con su comportamiento durante la meiosis<sup>70</sup>.

---

<sup>69</sup> Barahona, Ana. *Genética...* Ob. Cit. p. 14.

<sup>70</sup> La meiosis es, brevemente, una forma de reproducción celular en donde ocurren las divisiones sucesivas de una célula diploide (que poseen dos cromosomas). La célula diploide tiene 2 cromosomas y éstos son los que se dividen para dar como resultado 4 células haploides con un cromosoma cada una. Cfr. Barahona, Ana. Ob. Cit.

Además, mostrarían cómo se establecen “ligaduras” entre pares de caracteres que se transmiten juntos con mayor regularidad que otros en la transmisión hereditaria de una generación a otra; así como la distribución anómala entre cromosomas, donde un elemento de los cromosomas se “trasloca” hacia otro, con lo cual la distribución cromosomática cambia sin que cambie el número de éstos. Todos estos estudios cimentaron al gene como la unidad fundamental en la transmisión hereditaria; sin embargo, estos estudios se basaban en la observación empírica de cambios fenotípicos, y no en estudios sobre el funcionamiento interno del gene<sup>71</sup>.

Posteriormente, en 1945 se consideraba al gene como la “unidad fundamental” de la herencia; y en tanto unidad, se consideraba una partícula de “recombinación” constituida por tres componentes: *cistrón*, unidad que contiene el material hereditario para la producción de una proteína; *mutón*, unidad de mutación que posibilita el cambio; y *recón*, unidad de recombinación. Pero, a pesar de este tipo de caracterizaciones, no quedaba claro cuál era el material genético que determinaba la transmisión hereditaria.

La disyuntiva estaba en términos de saber si eran las proteínas (compuestos por veinte moléculas básicas) o los ácidos nucleicos (formados por cuatro moléculas básicas) el material genético. Lo interesante de este caso, a este nivel, es que en principio el ADN fue descartado por su sencillez: al imaginario científico de la época le parecía imposible que la complejidad que debía tener el material genético fuese transmitida por medio de sólo cuatro moléculas básicas. La inferencia inicial y más plausible fue que la complejidad del material hereditario debía estar constituida por compuestos complejos como las proteínas.

---

<sup>71</sup> Ciertamente, el término fue acuñado por el botánico danés Wilhelm Ludwig Johannsen en 1909, y se derivó de una palabra de origen griego que significaba “generar”. Para este científico el gene era la unidad física y funcional de la herencia biológica. Cfr. Barahona, Ana. *Historia de la Genética humana*. México: UNAM/Facultad de Ciencias, 2009.

### *Análisis indexical*

A este nivel, el modelo se planteó como una configuración tridimensional *a priori*, que se correspondía con los principios científicos de la época y las inclinaciones teóricas nuevas. El modelo del ADN propuesto por Watson y Crick ofrecía una explicación causal concreta acerca de los procesos y funciones bioquímicas de una entidad inobservable. En ese sentido, el modelo funcionaba de manera indexical, es decir, dentro de la terminología peirciana, representaba su objeto de referencia por relaciones de contraste y contigüidad, en donde el objeto representado estaba directamente relacionado con su representación.

Como se ha mostrado en los apartados anteriores, retomando la historia de la ciencia, el modelo de ADN se propuso sin evidencia empírica sólida que confirmara su forma o estructura. Los estudios sobre genética se desarrollaban con base en los cambios y continuidades fenotípicas. El problema epistemológico se plantea considerando que los estudios sobre los cambios visibles no muestran el funcionamiento interno de la transmisión hereditaria.

Una cuestión anexa era determinar si las proteínas o los ácidos nucleicos constituían el material genético. Por tanto, el estudio de la estructura interna de las macromoléculas constituyó un tema de interés fundamental: pues en principio podría dar respuesta al funcionamiento de los mecanismos y elementos que intervienen en el proceso de transmisión genética. Sin embargo, puesto que se trataba de entidades no observables de manera directa, el estudio de partículas a mediados de siglo XX carecía además de los instrumentos y artefactos que permitieran una observación indirecta o mediada.

El campo de la física cuántica y la química estructural ofrecieron los cimientos teóricos sólidos sobre los cuales pensar el funcionamiento de las estructuras moleculares. Pero, llevar las indagaciones de estas áreas hacia el conocimiento de la biología implicó redefinir el concepto nodal de “vida”, ya no en términos de funciones biológicas, sino más bien dirigido a un ámbito más propio de los estudios en bioquímica y biología molecular. Así, los procesos básicos de la

vida ya no estarían en razón de acciones y causas observables, sino en procesos, entidades y mecanismos que van más allá de la experiencia visible. Y, en un sentido más importante, estos nuevos componentes serían el fundamento mismo de la vida, la cual ahora se realiza a partir de funciones químicas y físicas, y no propiamente biológicas<sup>72</sup>. El origen de este nuevo modo de conocer los procesos biológicos parte de:

*Definición:* la vida tiene como fundamento procesos físicos y químicos no observables que permiten la continuidad hereditaria.

De ahí que la estructura inicial del ADN se planteara sobre la base de principios teóricos (físicos y químicos), no observacionales. La configuración visual de esta representación científica se realizó entonces desde dos supuestos formales importantes:

*Supuesto 1:* los átomos tienen forma esférica (lo cual ya supone espacialidad atómica)

*Supuesto 2:* los enlaces químicos entre átomos son barras fijas

Estos supuestos teóricos, provenientes de la química estructural y de las formas estereoquímicas, permitieron pensar las relaciones moleculares a la manera de estructuras rígidas; pero además, derivaron en un tercer supuesto a la manera de corolario:

*Supuesto 3:* las estructuras moleculares tienen espacialidad

---

<sup>72</sup> Véase: Knorr-Cetina, K. Ob. Cit. Cap. 6, p. 138 y ss.

Este último supuesto sería el fundamento visual para considerar la forma estructural de las moléculas sobre la dicotomía simetría/asimetría. Con base en estos supuestos, resulta coherente pensar que la configuración molecular obedece a una forma tridimensional (en principio tetraédrica) en donde los enlaces y ángulos de enlace, así como las dimensiones esféricas, responden a los cálculos específicos determinados por la teoría cristalográfica.

Los modelos de “barras y esferas” y “espacio lleno” proporcionarían una forma concreta para entender la distribución espacial de los átomos; pero resultarían insuficientes para dar cuenta de la función macromolecular básica: la replicación y autoreplicación. Las cadenas macromoleculares tienen la propiedad de duplicarse y generar así una copia sintética de sí misma. Pero este proceso complejo no podía ser observado mediante los modelos propuestos. El modelo de la  $\alpha$ -hélice permitía observar de manera clara el funcionamiento del mecanismo de replicación molecular: un proceso que sería estable en razón de los puentes de hidrógeno y las fuerzas de atracción energética (iones).

Así pues, la configuración visual del ADN en relación con su objeto de referencia (la entidad ácido desoxirribonucleico) mantiene un vínculo categorial de naturaleza indexical, en tanto establece relaciones de “atribución”<sup>73</sup> con una entidad no observable. Puesto que la cualidad de no observable hace imposible establecer criterios fijos para determinar sus características “reales”, la representación del ADN funciona como un índice que otorga a lo no observable atributos empíricos.

Sin embargo, estos atributos surgen de una relación específica: a saber, tal y como lo señala Brown, se le atribuyen características del mundo macroscópico a entidades microscópicas. El modelo del ADN funciona entonces como un medio para establecer vínculos teórico-visuales, que configuran una estructura microscópica específica en razón de cualidades macroscópicas. La

---

<sup>73</sup> Véase: Beuchot, M. Ob. Cit. Cap. 6, p. 87 y ss.

tridimensionalidad, espacialidad, estructura y volumen constituyen atributos del mundo macroscópico que define la experiencia humana; pero que se asocian a la naturaleza de objetos no observables para transformarlos en entidades susceptibles de ser experienciales.

Al proporcionar los atributos de un objeto, la representación de la estructura del ADN se convierte en una explicación de tipo causal: pues son estos mismos atributos los que explican causalmente el porqué de ciertos procesos biológicos. De ahí que, en relación con los estudios genéticos de carácter biológico, el modelo muestra las causas que expliquen los efectos observables de los cambios fenotípicos. Los cambios en la forma fisiológica de un organismo suponían la existencia de una entidad no observable; estos efectos que eran constantes y visibles permitieron conjeturas que guiaron los estudios posteriores. Por eso, para Peirce, “algunos índices son instrucciones más o menos detalladas de lo que el oyente ha de hacer para ponerse en conexión experiencial directa o en otra conexión con la cosa significada”.<sup>74</sup>

Este proceso conjetural-hipotético condujo de los efectos hacia la causa y, de acuerdo con Beuchot, esto conforma un tipo de explicación basada en una relación indexical, en donde la representación bioquímica y física se plantea como la causa que explica los efectos de cambios biológicos evidentes en el desarrollo generacional de un organismo. En este sentido, el modelo-representación del ADN da a conocer una cosa y la explica (cambios fenotípicos) a partir de los vínculos que establece con otra cosa (estructura ADN).

La relación indexical, a nivel epistemológico, permitió una inferencia hipotética trascendental: la existencia fáctica del ADN. A diferencia del ícono, el índice implica, necesariamente, la existencia de su objeto para poder representarlo. La relación directa que tiene con éste obliga a pensar que el objeto que representa existe en algún mundo posible. En esta dirección, la reflexión sustentada sobre este carácter indexical puede olvidar que, tanto signo como

---

<sup>74</sup> Peirce, Ch. S. *La ciencia...* Ob. Cit. p. 51

objeto existen dentro de un marco de referencias posibles, determinadas por en el espacio de sentido de una cultura específica.

### **2.3.3 Relaciones icónico-diagramáticas**

Como se ha revisado, en Peirce el ícono es un tipo de signo que establece relaciones de semejanza o similitud con su objeto de referencia. Lo interesante de este signo es que las posibilidades lógicas de la semejanza no implican la existencia real de lo representado; puede ser incluso imaginable o aún inimaginable. A nivel de modelos, las relaciones de semejanza establecen analogías de proporcionalidad, donde el signo reproduce desde cierta proporción al menos una característica del objeto que representa.

Las funciones semióticas que aquí se analizarán corresponden con el nivel icónico de relación diagramático, es decir, son de carácter diádico (dos elementos relacionados entre sí). De acuerdo con Peirce “muchos diagramas no se parecen en absoluto a sus objetos en la apariencia; sus parecidos consisten sólo en las relaciones de sus partes.”<sup>75</sup> En consecuencia, las relaciones diagramáticas nos muestran implicaciones y correspondencias lógicas propuestas desde la teoría, no necesariamente las propiedades del objeto representado.

Esto nos lleva a considerar que las relaciones estructurales internas que configuran la representación del ADN son de carácter icónico: pues se plantean como vínculos de semejanza teórica entre los principios científicos y sus caracterizaciones concretas. Los vínculos icónicos funcionan, dentro de una representación estructural, como marcas formales que establecen el funcionamiento mecánico de los componentes que conforman las macromoléculas. Es por ello que puede decirse que este modelo funciona como una estructura coherente derivada o deducida a partir del sistema de conocimientos científicos y de las teorías interesantes que surgieron y cobrarían fuerza a mediados del siglo XX. En las líneas subsiguientes se enlistarán y

---

<sup>75</sup> Peirce, Ch. S. *La Ciencia...* Ob. Cit. p.48

analizarán las relaciones icónicas que constituyen la configuración visual del ADN; especificando la relación de semejanza-analogía entre al menos dos analogados.

- *Esferas/color* —————→ *Grupos atómicos/movimiento*

Una característica de los modelos moleculares estructurales consiste en asignar un color a conjuntos de esferas. En principio, este atributo representacional funciona como un elemento de primeridad: es un “cualisigno” en tanto cualidad sensible que funciona significativamente para asignar y distinguir propiedades químicas.

Pero además, al interior de la estructura visual del ADN, este componente sígnico tiene una función icónica, pues permite establecer relaciones de semejanza entre elementos y compuestos químicos. Así, los grupos de esferas del mismo color constituyen propiedades químicas semejantes, cuya diferencia radica en la posición que ocupan en el espacio topológico (espacio de la representación). Esta cualidad otorga al modelo, además, la posibilidad de establecer dimensiones espaciales al determinar diferencias entre grupos de esferas y permitir contrastes visuales; pero además, funciona como un primer factor de movimiento: las distinciones cromáticas refuerzan los diferentes espacios que ocupan mismos elementos, con lo cual se sugiere la idea de movimiento molecular dentro de modelos de carácter estático.

- *Hélice* ←———— *Simetría/Constancia*

Esta relación de semejanza establece un vínculo analógico entre las cualidades geométricas y la proporción matemática del modelo genético. En términos más extensos, las lecturas matemáticas de la teoría cristalográfica, si bien sólo sugieren a través de la difracción de rayos X la posibilidad de una estructura helicoidal en las macromoléculas; empero, en el momento en que se

propone la estructura del ADN no hay evidencia empírica suficiente que confirme esta aseveración. En este sentido, las nociones que se vinculan con la forma helicoidal no son resultado de ninguna observación sobre objetos de la experiencia.

Cuando Watson y Crick hablan de la estructura helicoidal como “bella y sencilla” están considerando como criterio la simetría visual que proporciona la figura geométrica. La simetría helicoidal no sólo muestra la estabilidad y permanencia de una forma, sino que además es un criterio de verdad: en palabras del propio Watson, una estructura tan sencilla y estable “tiene que ser verdadera.”<sup>76</sup>

La simetría estructural de la hélice constituía a nivel semiótico una función necesaria: pues los enlaces de las bases moleculares tendían hacia la asimetría. Por ello, al colocar las cadenas de azúcar-fosfato en el exterior en forma de hélices se otorgaba a la representación del ADN cualidades geométricas que aportaban estabilidad visual, y encubrían la aparente asimetría de los enlaces químicos de las bases. Cabe recordar que esta operación semiótica fue descrita por los propios autores del modelo, pues en principio una sugerencia fue colocar las hélices al interior, y las bases al exterior, pero esto sólo mostraba inestabilidad e, intuitivamente, no parecía conformar una estructura.

Por otra parte, la figura geométrica se define por sus ángulos constantes y su proyección fija en un punto del espacio. Estas características geométricas, pero llevadas a la representación del ADN, serían la manifestación visual concreta de las lecturas químicas y físicas del estudio de partículas: los enlaces de hidrógeno y fuerzas Van der Waals sugieren no sólo que los enlaces moleculares son constantes, sino que además se repiten de manera exacta en un número determinado de aminoácidos. Por tanto, la repetición/constancia de los enlaces moleculares encontraría una proyección analógica clara al establecer semejanza con la repetición-estable/ángulos constantes de la figura geométrica helicoidal.

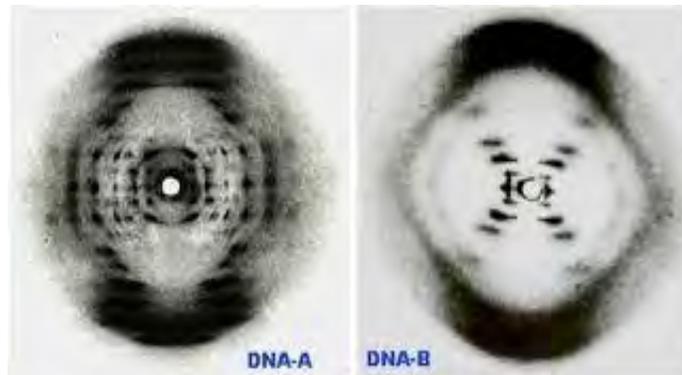
---

<sup>76</sup> Véanse los textos antes citados de James Watson acerca de la conformación de la estructura del ADN.

Más aún, la proyección fija en el espacio sobre un eje llevaría a establecer una clara analogía con el carácter autoreplicante de la molécula. En la función de replicación, incluso, la proyección espacial de la molécula se realiza sobre un eje, en el cual se abre y cierra la hélice para conformar otra hélice idéntica. Ello sugiere, por semejanza, la posibilidad de proyectarse hacia el infinito en el espacio, sin inicio ni fin, con lo cual una cadena helicoidal está en permanente giro a lo largo del eje.

- *Doble hélice* → *Esqueleto/Armazón*

Las fotografías B de Rosalind Franklin contribuyeron a resolver la cuestión de la doble hélice. Como se ha comentado ya en otros apartados de este trabajo, la sugerencia sobre la estructura helicoidal fue el resultado de inferencias que se derivaron de los principios teóricos de la época en que Watson y Crick propusieron su modelo. Sin embargo, el número de hélices fue determinado por la evidencia visual fotográfica; pues la discusión disciplinar (específicamente entre Pauling y Crick) versaba sobre la posibilidad de tres cadenas helicoidales.



Pero, la estructura de doble hélice, a nivel representacional, resolvió un problema de funcionamiento: cómo plantear una estructura regular sobre la base de enlaces químicos irregulares en los nucleótidos. La doble hélice como esqueleto permitió establecer una forma coherente, dentro de las teorías vigentes,

que agrupara funcionalmente la dicotomía simetría/asimetría. A semejanza de un esqueleto, la doble hélice sería soporte y protección del núcleo; y además, en tanto principio formal de regularidad y simetría, sería el “molde” que contiene y encubre las relaciones nucleótidas asimétricas.

- *Hélice/Espacio vacío* —————→ *Irregularidad*

Sin embargo, pese a la necesidad científica de establecer una estructura regular, el criterio de irregularidad helicoidal establecería analogías con los principios moleculares de los estudios cristalográficos. Al igual que muchas de las relaciones icónicas anteriores, este vínculo asociativo describe teóricamente el funcionamiento mecánico de los componentes de las macromoléculas. En particular, contribuye a fortalecer la idea de la autoreplicación: pues una estructura llena en su totalidad resulta problemática al momento de considerar los enlaces intermoleculares.

De acuerdo con la “estructura de los metales” de la Sociedad Faraday, Watson encontró que una estructura irregular compuesta por varios espacios vacíos permite la asociación con otras moléculas. Esta respuesta, igualmente calificada como “sencilla”, establecería lazos de semejanza con la forma y función de otras estructuras moleculares (en este caso metales); pero además, establece las condiciones representacionales para sostener, gráficamente, la función bioquímica básica de las macromoléculas. Así pues, las proporciones químico-estructurales de los metales se asociarían a la proporción de funcional de la representación estructural del ADN, para plantear una configuración visual que permitiera sugerir las funciones moleculares.

- *Isomorfismos* —————→ *Enlace/Estabilidad*

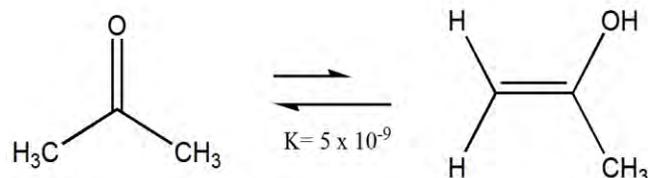
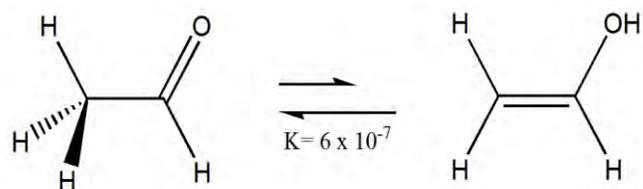
Resulta interesante notar que si bien la simetría helicoidal daba la idea de un sistema estable con base en un criterio geométrico y físico, empero la estabilidad estructural estaría determinada por los enlaces químicos. La sugerencia inicial de la forma hélice no resultaba suficiente para garantizar la regularidad y constancia formal, así que las hipótesis acerca de una estructura macromolecular se dirigieron hacia los enlaces que conforman el núcleo. En palabras del propio Watson, “mi intención era encontrar el modo de colocar las bases situadas en el centro, de modo que la forma del armazón exterior quedara por completo regular; es decir, proporcionar a los grupos de azúcar y fosfato de cada nucleótido idénticas configuraciones tridimensionales.”<sup>77</sup>

El problema a nivel semiótico era que las cuatro bases presentaban formas muy irregulares, a partir de las cuales no parecía posible establecer una configuración regular. Si bien el uso de las “reglas” de equivalencia de Chargaff<sup>78</sup> sugería una estructura regular en los enlaces del núcleo, empero no presentaba soluciones a nivel representacional. Una aproximación a la solución visual estaba en sustituir la forma enólica de las bases por la forma cetónica: este procedimiento buscaba asemejar las formas estructurales de los compuestos químicos. Las formas tautoméricas están conformadas por relaciones de isomería en las cuales existe la transposición de un átomo de hidrógeno entre las dos estructuras vinculadas. Esta operación permite un equilibrio entre ambas tautomerías...

---

<sup>77</sup> Watson, J. *La doble hélice*. España: Alianza, 2011. P. 188 y ss.

<sup>78</sup> Chargaff planteó reglas en las cuales, dada la naturaleza química de los nucleótidos, se establecen relaciones de complementariedad entre grupos de orden diferente. Los nucleótidos se dividen en dos grupos, purinas (adenina y guanina) y pirimidinas (citosina y timina); entonces, a una purina le corresponde de manera complementaria una pirimidina: de ahí que una adenina siempre se enlaza con una timina, y una citosina con una guanina. Estos enlaces covalentes son permanentes y constantes, lo cual muestra un núcleo sólido.



Sin embargo, aunque el principio químico era sólido y, al igual que las equivalencias de Chargaff, confirmó la equivalencia entre primidinas y purinas (pero en términos visuales), no funcionaba a nivel tridimensional y sólo era eficaz con representaciones estructurales bidimensionales. La solución propuesta por Watson fue hacer semejantes las formas nucleótidas a través de enlaces dobles de hidrógeno.

Al agregar al conjunto de enlaces químicos dos enlaces de hidrógeno la configuración del par adenina/timina resultaba muy semejante (“idéntica”) a la configuración espacial del par citosina/guanina. De esta manera, en términos de Watson, los enlaces parecían unirse “de manera muy natural”. Cabe señalar que esta apuesta observacional fue resultado de una intuición visual; posteriormente los análisis químicos de Francis Crick y Jerry Donahue confirmarían la pertinencia de estos enlaces de acuerdo con las fórmulas y principios estereoquímicos.

La semejanza formal entre compuestos químicos fue el principio que desencadenó la justificación teórica de la estructura de doble hélice. Una vez que se demostró la estabilidad química del núcleo, las especulaciones e hipótesis anteriores cobraron fuerza teórica, y se reafirmaron sobre la base de esta nueva

evidencia. La analogía visual permitió plantear las posibilidades teóricas, y no al revés, de suerte que los puentes de hidrógeno así planteados determinarían posiciones y funciones regulares en los mecanismos bioquímicos del ADN.

Esta última analogía demostraría de manera más sencilla un “esquema de reproducción” más regular y sólido, sobre el cuál se argumentaría la pertinencia de la autoreplicación. Los enlaces iónicos y las fuerzas de atracción contribuyeron a deducir el carácter primario de los enlaces que surgen por replicación entre pares complementarios (diferentes) y no entre iguales. La analogía y distancia frente a ciertos principios químicos concluyó en rasgos formales que representan la mecánica interna de una macromolécula.

\*\*\*\*\*

A este nivel, el análisis semiótico ha mostrado que las funciones icónicas que constituyen el modelo molecular del ADN, propuesto por Watson y Crick, plantean relaciones de analogía-semejanza con las teorías más aceptables de la época. La relación de proporcionalidad, en este sentido, se edificó sobre la base de la semejanza del caso modelado en relación con las teorías específicas: donde se buscaba caracterizar de manera concreta la proporción teórico-conceptual en una representación visual.

En este sentido, las funciones icónicas del modelo tienen el objetivo de reproducir y recrear las condiciones de funcionalidad mecánica de una partícula. Y con ello, mostrar visualmente: por un lado, la representación espacial de la teoría; y por otro, el movimiento molecular. La construcción icónica del modelo, pues, resulta de procesos inferenciales y deductivos dentro del marco teórico aceptado por las nuevas corrientes de pensamiento científico.

Las relaciones de semejanza a nivel del funcionamiento interno de la estructura, no sólo producen la idea de regularidad y estabilidad estructural, sino que además permiten inferencias vinculadas con las funciones bioquímicas de una partícula no observable. Por ello, y a falta de evidencia empírica, las soluciones y propuestas de representación molecular obedecen a procesos inferenciales que, a

la manera de Peter Lipton —siguiendo y complementando el planteamiento de Peirce—, surgen a partir de los datos disponibles y el cuerpo de teorías que se encuentran a la mano.

De acuerdo con Lipton, las inferencias hechas sobre la forma y configuración del ADN tienen como resultado explicaciones “plausibles”, y cuyo valor epistémico está en relación con inferir cuál es la “mejor explicación” dentro del campo de conocimientos establecidos. Este tipo de inferencia es una variante de la abducción de Peirce, y busca establecer los criterios para determinar la mejor explicación dentro un proceso complejo, en donde hay que inferir, a su vez, entre la “explicación más deseable” y la “explicación más probable”<sup>79</sup>.

Las analogías icónicas nos muestran que en su mayoría, las explicaciones acerca de la estructura del ADN fueron sobre la base de explicaciones más probables dentro del campo teórico propuesto por la física cuántica, la mecánica de partículas y la química estructural. Sin embargo, la relación de estabilidad química entre nucleótidos, que fue el punto culminante para determinar la estructura del ADN, respondió más a una explicación deseable: donde la configuración visual resultaba más pertinente e importante que la continuidad teórica.

#### **2.3.4 Derivaciones simbólicas y funciones metafóricas**

Desde un punto de vista pragmático, la significación está determinada por las condiciones interpretativas que surgen en contextos sociales específicos: las diferentes secuencias sígnicas se interpretan desde códigos culturales de reconocimiento que se plantean sobre la base de una realidad histórica concreta. Si se acepta esta derivación pragmática, se debe reconocer entonces que las relaciones icónicas de semejanza y analogía se plantean sobre la base de estos códigos, y entonces las proporciones y cualidades analogadas no se vinculan con

---

<sup>79</sup> Lipton, Peter. “Inference to the best Explanation”. En Newton-Smith, W. H. (editor). *A Companion to the Philosophy of Science*. Estados Unidos: Blackwell, 2000. P. 187 y ss.

los atributos propios del objeto, sino con las normas y leyes convencionales que determinan los rasgos significativos y sentidos en asociaciones semióticas particulares.

Por consiguiente, todo signo denota su objeto en relación con alguna convención que dirige y condiciona el sentido de aquello que está representando. De ahí que, en el proceso de significación los signos derivan en símbolos: es decir, que para establecer sus relaciones de sentido, los signos se constituyen en símbolos cuyo carácter representativo está determinado por la convención y ley social. Tanto íconos como índices son dentro de este esquema constituyentes de los símbolos, pero el sentido del signo estará clausurado por las relaciones intencionales que funcionan a nivel simbólico.

La definición peirciana es la siguiente: “un símbolo es un signo naturalmente adecuado para declarar que el conjunto de objetos que es denotado por cualquier conjunto de índices que pueda vincularse con él de distintas maneras es representado por un ícono asociado con él.”<sup>80</sup> En otras palabras, esta definición nos dice que el objeto (o conjunto de objetos) señalado por el índice, y representado por el ícono, establece sus asociaciones y vínculos significativos por medio del símbolo. En este sentido, las relaciones significativas de los signos son de carácter simbólico, y es desde el símbolo como ley y convención que se plantean los posibles interpretantes de un signo.

Esto nos permite afirmar que las relaciones semióticas que constituyen la representación del ADN se plantean sobre la base de códigos sociales, que permiten su reconocimiento e interpretación. En principio, dichos códigos son establecidos por la comunidad científica, pero el carácter convencional de las interpretaciones genera derivaciones simbólicas más amplias al interior de una sociedad. Las asociaciones simbólicas ocurren a través de los términos y argumentos<sup>81</sup> que vinculan el sentido específico de una representación con el

---

<sup>80</sup> Peirce. Ch. *La ciencia...* Ob. Cit. p. 56.

<sup>81</sup> Cabe señalar que las categorías de terceridad-interpretante que plantea Peirce son término, proposición y argumento, y cada una es afectada por el nivel de relación lógica del que participan: así, el *término* es una

contexto social de los interpretantes. En este proceso, las semejanzas icónicas se extienden hacia otros ámbitos sociales de conocimiento en donde se trasponen contenidos diferentes. Como resultado, surgen analogías de carácter simbólico que establecen paralelismos entre términos científicos y significados sociales.

Así, puede decirse que las asociaciones simbólicas se constituyen como el fundamento que posibilita las analogías metafóricas. Esto no contradice en modo alguno la teoría semiótico pragmática, pues hay que recordar que dentro del planteamiento peirciano la metáfora es un tipo de semejanza-analogía (hipoicono), pero cuya relación de paralelismo está a nivel de la convención (terceridad en el ícono). El modelo —cuya función es metafórica— es un tipo de signo enmarcado dentro de esta clase de relaciones, y a diferencia de la metáfora denota sus objetos en relación con las teorías y las comunidades (científica y social) donde está circunscrito.

Ahora bien, antes de analizar la función metafórica de la estructura del ADN-Watson/Crick, es necesario revisar algunas características de la metáfora que son de utilidad al momento de interpretar su forma y contenido. Así pues, dentro del esquema propuesto por Andrew Ortony<sup>82</sup>, esta forma de lenguaje funciona con base en una relación de “similaridad” entre la oración (o de manera más pertinente secuencia de signos) y el hablante. En otras palabras, una metáfora requiere una “competencia ontológica” por parte del hablante para poder ser interpretada, y en este sentido implica que tanto su estructura formal como la capacidad del hablante sean parte del mismo dominio de conocimientos. De suerte que los interlocutores puedan ver de manera esquemática las propiedades y términos que se significan de un dominio a otro.

Pero además, la metáfora requiere que, para ser entendida como tal, los hablantes de un determinado dominio tengan habilidades para reconocer la distinción entre el significado y lo que se dice. De ahí que una metáfora implica

---

categoría de primeridad que representa una características del objeto; proposición, es una categoría de segundidad compuesto por términos y que describe el hecho-objeto que indica; y el argumento, categoría de terceridad, que establece el sentido y verdad del juicio sobre el objeto.

<sup>82</sup> Ortony, A. *Metaphor and Thought*. 2ª edición. Inglaterra: Cambridge University Press, 1993. Pp. 430 y ss.

una conciencia metalingüística para discurrir en los diferentes sentidos entre el decir y lo dicho. No obstante, la interpretación, de acuerdo con Ortony, no se circunscribe a la conciencia metalingüística: precisamente la metáfora permite que el sentido pueda ser interpretado sin una conciencia metalingüística; pero, en otra dirección, no puede haber dicha conciencia sin una interpretación adecuada.

La función comunicativa de una metáfora consiste en describir o explicar alguna cosa que pertenece al mundo; y lo hace de una manera nueva y eficiente: es decir, que la metáfora explica un contenido pero a partir de una forma discursiva que, en principio, no estaba planteada en la relación significativa inicial. Por ello, la metáfora establece relaciones de analogía que tienden a formar lazos de sentido entre términos, conceptos o signos que son de naturaleza diferente.

Considerando estos rasgos de la metáfora y de acuerdo con sus características semióticas, el modelo de ADN Watson/Crick corresponde con un modelo de tipo analógico cuyas funciones metafóricas están en razón de establecer relaciones isomórficas: a saber, una configuración de funciones que buscan reproducir, por correspondencia y proporción, la estructura de su referente. Al igual que otros tipos de modelo, éste permanece sujeto a un proceso de interpretación que posibilita establecer inferencias a partir de los rasgos pertinentes que representa.

### *Análisis de funciones metafóricas*

Así pues, las relaciones de semejanza y analogía a nivel icónico-diagramático establecen las configuraciones espaciales pertinentes sobre las cuales se identificarán las funciones metafóricas<sup>83</sup>. Es necesario aclarar que la configuración del modelo ADN-Watson/Crick a partir de analogías icónicas

---

<sup>83</sup> Es importante mencionar que algunas de estas metáforas y funciones metafóricas ya han sido revisadas por Brown, Cortiñas, Martín, Nelkin y Lindee; así como también por los mismos autores del modelo. La bibliografía correspondiente se encuentra referida al final este trabajo.

construye, como condición inicial, la estructura básica sobre la cual se desarrollarán las asociaciones a nivel isomórfico.

- *(Hélice-armazón)* —————→ *Molde*

La estructura de la doble hélice como armazón fijo permitió la inferencia de que el ADN no sólo era un contenedor, sino que en tanto molde determina la forma de algo. Esta función del ADN a nivel metafórico fue sugerida por los mismos autores del modelo, quienes comentan “nuestro modelo para el ADN es, en efecto, un par de moldes, cada uno de los cuales es complementario del otro... Cada cadena actúa como molde para la formación sobre ella misma de una nueva cadena complementaria...”<sup>84</sup>

Dentro de esta metáfora de molde, permanece implícita además la asociación con una estructura regular dentro de la cual ocurre el proceso de replicación. La regularidad de enlaces químicos y la estabilidad helicoidal permiten justificar esta asociación metafórica. Con este recurso no sólo se explica a nivel científico el funcionamiento de replicación molecular y desde ahí el proceso de transmisión de material hereditario; sino que además se recurre al molde como una imagen familiar en términos sociales.

En este sentido, un molde es una forma regular determinada y determinante, que condiciona formalmente la materia que puede contener. Por ello, al mirar la estructura del ADN como un molde se sugiere la inferencia del ADN como el elemento y factor fundamental que determina las variaciones físicas (fenotipos) entre las especies.

---

<sup>84</sup> Watson, J. y Crick, F. “Genetical implications of the structure of deoxyribonucleic acid”. En *Nature*. No. 171. Reino Unido: Nature Publishing Group, 1953 (b).p. 965. Este artículo referido y citado en Cortiñas Rovira, Sergi. “Las metáforas del ADN: una revisión de los procesos divulgativos”. En *Journal of Science Communication*. Volúmen I. Marzo, No. 7. Estados Unidos: International School for Advanced Studies, 2008.

- *(Hélice-Estructura Estable)* —————→ *Gen-unidad-autonomía*

En el artículo en la revista *Nature* donde Watson y Crick reportan por primera vez sus hallazgos acerca de la forma helicoidal del ADN<sup>85</sup>, los autores afirman que lo novedoso de su modelo no es sólo plantear una doble hélice —diferente del propuesto por Pauling que mostraba tres hélices—, sino demostrar una configuración específica que hace estable la estructura del ácido. Como se ha mencionado en otros apartados de este trabajo, la primera aproximación visual fue pasar a los nucleótidos a una forma tautomérica (cetónica en vez de enólica) para plantear una correspondencia visualmente menos compleja de las equivalencias Chargaff; y luego, la cuestión final estuvo en proponer enlaces de hidrógeno que hicieran visualmente compatibles los enlaces entre nucleótidos con las fuerzas de atracción Van der Waals.

Al final de este breve texto ambos científicos reconocieron el valor del descubrimiento: “no nos ha pasado inadvertido que el emparejamiento específico que hemos postulado sugiere inmediatamente un posible mecanismo de copia para el material genético.” Con ello, se sugiere que la estructura del ADN es, en sí misma, una unidad mecánica que puede realizar la replicación molecular con relativa autonomía.

La relación metafórica que aquí se plantea sugiere que la autoreplicación molecular es posible por la estabilidad química del ADN; y en este sentido, sugiere que la función de replicación ocurre sobre la base estructural “autocomplementaria” de la molécula. Esta condición del ADN como unidad estable permite la relación metafórica del gen-autónomo, en donde sólo las condiciones estructurales internas del ADN son suficientes para realizar el proceso de replicación y autoreplicación.

---

<sup>85</sup>Watson, J y Crick, F. “Molecular Structure of Nucleic Acids”. En *Nature*. No. 4356. Reino Unido: Nature Publishing Group, 1953. Este artículo fue revisado en la copia que aparece en el texto Watson, J. *ADN. El secreto de la vida*. Trad. Irene Cifuentes. 5ª edición. España: Taurus, 2006

Sobre la base de esta relación metafórica, se extienden otras formas discursivas que retroalimentan el rasgo de autonomía construido a partir del cimiento de estabilidad molecular. “La inmortalidad del gen” usada por Watson, o “el principio biológico perfecto” de John Griffith, son asociaciones pertinentes que se postulan sobre el fundamento químico del ADN. La autocomplementariedad de los nucleótidos en pares complementarios (purina-pirimidina), permanentes y estables, permitió hablar de la autoreplicación molecular; como consecuencia generó vínculos posteriores que refuerzan las ideas metafóricas del ADN como el centro “perfecto” de la vida.

- *(ADN/Estructura)* —————→ *Código/Información*

Esta metáfora establece relaciones de orden diferente: la analogía que plantea confirma, más bien, las tendencias científicas anteriores a la estructura misma del ADN. La asociación tiene como origen la inclinación fisicalista de la biología a mediados del siglo XX. Precisamente, fue el físico Erwin Schrödinger quien en 1944 propuso que la vida podía estudiarse y definirse en términos de almacenamiento y transmisión de información biológica, pues en teoría cada célula debía portar la información suficiente para transmitirla generacionalmente.

En su libro “*¿Qué es la vida?*” Schrödinger utiliza el término “mensaje cifrado hereditario” para referir la información genética contenida en las células. Por supuesto, la propuesta de la época era establecer un ámbito nuevo de conocimientos, en donde se pudieran dar explicaciones acerca de procesos biológicos, pero utilizando herramientas teóricas (provenientes de la física y química) más allá de las que disponía la propia biología.

Este texto fue una clara inspiración para los biólogos de la época, y el mismo Watson en sus escritos ha reconocido la notable influencia de estas afirmaciones. El renovado interés de la investigación biológica radicó en descubrir el funcionamiento de los mecanismos hereditarios, pero bajo la idea reduccionista de que la vida y la herencia son transmisión de información, es decir, que aquello que

se transmite generacionalmente es una suerte de compendio o archivo de datos que determina las características de las especies y permite la continuidad de la vida.

Como consecuencia, la noción de información en los procesos biológicos promovió la idea del determinismo biológico, donde los individuos están constituidos invariablemente por efecto de la configuración preestablecida y la disposición relacional de esta información. Luego, la estructura estable del ADN, la autocomplementariedad y autoreplicación, justificó el carácter determinante de la herencia genética y su condicionamiento hacia los rasgos invariantes de las especies. Visto desde este enfoque, la configuración del ADN sería entonces el núcleo causal de que la materia viva sea como es: pues el proceso unidireccional de transcripción y traducción de la información genética, tiene su fundamento y origen en el ADN, el cual posteriormente se transmite hacia el ARN y finalmente se traduce en proteínas. Por ello Watson y Crick se refería metafóricamente a éste como “dogma central”.<sup>86</sup>

Pero más aún, si esa información era un mensaje cifrado, es decir, que tenía un orden específico, queda claro que la noción de cifrar-descifrar forma parte de un proceso de codificación y decodificación<sup>87</sup>, donde lo cifrado es un mensaje que está articulado de acuerdo con el orden preestablecido por un código de lenguaje. En esta derivación simbólica, la estructura del ADN, como una configuración de relaciones determinadas, se asociaría con la noción de “código” en tanto sistema lineal de caracteres informacionales.

Estos vínculos serían muy sugerentes dentro de la comunidad científica, y la noción de ADN-estructura-código establecería el contexto discursivo sobre el cual plantear nuevas metáforas. En esta orientación, Richard Dawkins hablaría del

---

<sup>86</sup> En particular, la noción “dogma central” fue desarrollado por Francis Crick en un artículo publicado en la revista *Nature*. Al respecto, revisar: "Central dogma of molecular biology." En *Nature*. No. 5258. Reino Unido: Nature Publishing Group, 1970.

<sup>87</sup> El mismo Watson utilizaría la palabra “decodificar” al reconocer, años más tarde, el carácter mismo de la doble hélice como un mensaje.

ADN como “los planos de un arquitecto para la construcción de un edificio”, o bien, el mismo Dupré llevaría esta idea de código hacia la noción de programa, o mejor dicho de “receta” con la cual poder fabricar nuevos organismos. De manera más mesurada y científica, investigadores como Monod hablarían de la decodificación genética como “mecanismos de traducción irreversibles.”

Por supuesto, la metáfora de “información biológica” no surge a partir del modelo ADN, y tiene diferentes referencias teóricas que constituyen sus antecedentes dentro del lenguaje científico. En particular, se puede citar la “teoría de la información” presentada por Claude E. Shannon y Warren Weaver a finales de la década de los años 1940. En todo caso, lo que aquí se muestra en esta parte del análisis es el modo en que la representación de la molécula contribuyó a al marco discursivo sobre el cual se desarrollan las asociaciones metafóricas de la información hereditaria.

- *(ADN/Enlaces Nucleótidos/Estructura) → Escritura/Lenguaje*

De acuerdo con lo anterior, las relaciones metafóricas de “código” y “mensaje cifrado” consolidaron la noción de que la información hereditaria, así dispuesta, es una forma de escritura, una suerte de discurso de la naturaleza que permanecía en “secreto” para el conocimiento humano. Este supuesto discurso secreto estaba escrito en términos de nucleótidos o, para utilizar la metáfora a la que los científicos de la época recurrieron, estaba cifrado en los términos del “alfabeto de nucleótidos”.

Las representaciones gráficas bidimensionales de la estructura tridimensional de Watson y Crick contribuyeron a establecer las relaciones de analogía: la nomenclatura de las bases (A, G, T, C) y sus posiciones a lo largo de la cadena enraizaron la idea de un alfabeto. Más aún, la equivalencia entre nucleótidos y aminoácidos (tres bases forman un codón que se corresponde con uno de los 20 aminoácidos) consolidó la metáfora de que las secuencias específicas de

nucleótidos en las diferentes especies era una forma de escritura específica, que se correspondía con las reglas y componentes de un alfabeto propio.

Esto permitió, a nivel epistemológico, caracterizar de manera más concreta el proceso de replicación como una acción de “transcripción y traducción molecular”, en donde la escritura del ADN se transcribe en ARN, y del ARN se traduce en proteínas. Esta relación metafórica, entonces, adquiere un valor heurístico específico, en tanto permite comprender el proceso de replicación en términos de un lenguaje coloquial. Esto llevó a investigadores como Dawkins a explicar la de la estructura genética y el conjunto del ADN humano como “un libro de instrucciones”, escrito en su propio lenguaje.

- *(Hélice/Estructura)* —————→ *Estructura Plegada*

Finalmente, las metáforas que asocian la estructura del ADN con la idea de un lenguaje/código derivan en analogías explicativas sobre la organización interna de los elementos moleculares. Si bien el ADN es un código de información muy extenso, entonces se asume que esta cantidad de material debe estar de alguna manera condensada dentro de los núcleos celulares; empero quedaba a la imaginación científica de la época determinar cómo explicar el funcionamiento mecánico de una molécula que se encuentra de forma compacta.

Siguiendo los comentarios de Brown<sup>88</sup>, esta metáfora funciona en dos sentidos. El primero es usar el término “plegado” para caracterizar el proceso dentro del cual una macromolécula cambia de estado: es decir, es utilizado este término para explicar la replicación a partir de dos momentos moleculares (estado natural-plegado/estado replicación-desplegado). Por ello, plegado sirve para articular metafóricamente la replicación experimentada por las moléculas en donde

---

<sup>88</sup> Cfr. Brown, T. Ob Cit.

pasan de un estado plegado a uno desplegado, formando así una cadena que es extendida inicialmente.

En otra dirección, el segundo sentido metafórico consiste en la idea que la identidad y orden de las moléculas en la cadena de proteínas determina una estructura tridimensional. Este planteamiento descansa en el supuesto de que la estructura tridimensional está contenida en la secuencia lineal de aminoácidos. Así pues, esta secuencia se encuentra plegada al interior del núcleo celular, pero si se llegase a desdoblar, podría “leerse” el contenido (a la manera de un lenguaje) como si estuviera dentro de un mensaje escrito.

\*\*\*\*

Las derivaciones simbólicas en la representación del ADN nos muestran los sentidos sociales y el carácter convencional con el cual se interpretó y dio sentido a la estructura helicoidal. Como se mencionó en líneas arriba, este sentido surgió primero desde la propia comunidad científica; sin embargo, las metáforas utilizadas y el valor simbólico permitieron asociaciones posteriores que resemantizaron su significado de diferentes maneras.

Determinar la estructura de una entidad microscópica no sólo fue un logro personal de un grupo de científicos, sino además fue interpretado como un éxito del espíritu moderno: lograr que el conocimiento humano dé cuenta del universo entero. De ahí que, los diferentes procesos de simbolización de una representación lograron socializar este espíritu científico, haciendo compatible la vida cotidiana con los más altos ideales de la ciencia moderna.

A diferencia de lo que plantea Michael Halloran<sup>89</sup>, aquí se ha mostrado de alguna manera que no fue sólo el discurso científico de la biología lo que hizo del modelo de ADN un referente de conocimiento. Sino, más bien, fueron los enlaces metafóricos entre diferentes teorías bien aceptadas (derivados de relaciones de

---

<sup>89</sup> Ver: Halloran, Michael. “The birth of molecular biology: an essay in the rhetorical criticism of scientific discourse”. En Allen Harris, Randy. *Landmark Essays on Rhetoric of Science: Case Studies*. 1ª edición. Estados Unidos: Hermagoras/LEA, 1997

semejanza icónica y de funciones indexicales) los que construyeron las condiciones para que dicha representación funcionara a nivel simbólico dentro del imaginario colectivo de occidente.

Es por estas circunstancias donde además los lazos semióticos (icónicos y simbólicos) funcionaron para establecer diálogos interdisciplinarios, poniendo como fundamento de conocimiento la pluralidad de enfoques en el estudio concreto de una entidad no observable. Así pues, la representación del ADN no sólo logró establecer vínculos significativos con grupos sociales, sino también con un conjunto de intereses científicos multidisciplinarios.

#### **2.4 Problemas de iconicidad y sentido**

Al conjuntar diferentes disciplinas e intereses grupales, el ADN construyó en su propio entorno y a lo largo del siglo XX una “mística”<sup>90</sup> muy peculiar. En palabras de Nelkin y Lindee, se convirtió en un “ícono cultural” que representaba tanto intereses políticos y económicos, como valores sociales y religiosos. Este “ícono” se popularizó a tal grado que funcionó como bandera de iniciativas de género y raza, más allá del contexto científico que le había dado un sentido inicial.

Lo que muestra el transcurso del siglo XX y principios del XXI, es que las analogías simbólicas siguieron derivando en nuevos sentidos asociados a la representación del ADN. La industria cultural mediática logró difundir a través de diversos productos nuevos contenidos —e incluso significados imaginables provenientes de los comic’s y películas de ciencia ficción—, utilizando los argumentos científicos como punta de lanza para justificar las más diversas prácticas sociales. El resultado: la instrumentalización del ADN, y su consecuente mercantilización.

En este último apartado de análisis semiótico se describirá el proceso de significación que dio paso a este desbordamiento de analogías metafóricas, con la

---

<sup>90</sup> Ver: Nelkin, Dorothy y Lindee, Susan. *The DNA Mystique. The gene as a cultural icon*. Estados Unidos: University of Michigan Press, 2004.

intención de mostrar los problemas de representación que surgen de las relaciones de semejanza y analogía. El problema es que la asociación progresiva de sentidos potencializa la pérdida del sentido mismo: el signo deja de denotar su objeto y comienza a connotar significados opuestos. En principio, se puede decir que la representación del ADN propuesta por Watson y Crick construyó los cimientos de su propia instrumentalización.

#### **2.4.1 Semiosis hermética y “connotación cancerosa” en el ADN**

Los procesos implicados en la difusión mediática implican de manera necesaria la diversificación de los contextos de recepción y, en esta dirección, la individualización en la interpretación de los mensajes-texto. Sin embargo, esta afirmación, más que determinante es en todo caso problemática: nos obliga a dar una respuesta en términos de la conformación del sentido en los medios masivos y la consecuente interpretación de este contenido.

En términos generales, la difusión e interpretación masivas de mensajes mediáticos nos lleva a considerar hipotéticamente el proceso mediático de conformación de sentido social como parte de una “semiosis hermética”, en la cual, a partir de relaciones de analogía, las representaciones mediáticas adquieren su significado estableciendo un vínculo de semejanza con el objeto representado. En este punto, se hablaría —a partir de Peirce— de relaciones icónicas: donde el signo (o conjunto de signos relacionados entre sí a la manera de un texto-mensaje-discurso) representa alguno o algunos de los atributos o propiedades del objeto representado.

De aceptar esta afirmación, se estaría sosteniendo, no sólo que los medios masivos difunden la información a través de relaciones icónicas, sino que además se daría una solución determinante a la cuestión de la objetividad y veracidad de la información transmitida. A fin de cuentas, si las representaciones mediáticas son de carácter icónico, entonces la relación semántica entre el mensaje-texto y su contenido tendría garantizada su verdad en virtud de la semejanza entre el objeto de referencia y el signo (o signos) que lo representan. De ahí que resulte

inevitable suponer que los sujetos sociales son, desde su propio contexto social particular, intérpretes legítimos de los mensajes mediáticos; por tanto, cada uno estaría justificado en construir su propia verdad acerca del hecho representado en tanto logre interpretar las relaciones icónicas, necesarias para entender el contenido del mensaje.

En el caso del ADN, tal y como lo han estudiado Nelkin y Lindee, el posicionamiento mediático de esta entidad científica ocurrió desde varias direcciones: por un lado, los productos propios de una sociedad del consumo (películas, revistas, comic's, etc...); por otro, funcionando como cimiento de principios políticos, morales y legales. Incluso, hoy en día las pruebas de ADN resultan trascendentes dentro de un proceso jurídico para establecer pruebas contundentes.

En este sentido, y de acuerdo con los planteamientos de Umberto Eco, la "semiosis hermética" conlleva hacia una extensión desproporcionada del sentido, donde el sentido de un signo o texto se puede extender progresivamente sin encontrar algún límite determinante. La semiosis hermética establece bajo la relación de analogía/ semejanza diversos criterios a través de los cuales establecer relaciones; pero es en este punto donde se presenta el problema: "en cuanto el mecanismo de la analogía se pone en marcha, no hay garantía de que se detenga... Cada vez que uno crea haber descubierto alguna semejanza, ésta señalará a otras en una progresión interminable."<sup>91</sup>

En el caso de la representación del ADN, son las propias semejanzas internas las que posibilitan analogías simbólicas. La construcción misma de la representación a partir de analogías con diversos conocimientos y comunidades científicas desató el mecanismo de la analogía infinita. La progresión consecuente de sentido derivó en asociaciones contradictorias: el ADN funciona como referente científico para justificar distinciones raciales y sostener la pureza de una familia; así como también sostener posiciones morales y religiosas en conflictos históricos.

---

<sup>91</sup>Eco, U. *Interpretación y sobreinterpretación*. 1ª edición. Reino Unido: Cambridge University Press, 1995. P. 58.

Quizás el sentido más problemático es la idea de dominio sobre el devenir de la naturaleza. La manipulación e intervención de la estructura del ADN sugiere el control sobre los procesos naturales. Pero el aparente dominio de la ciencia no sólo retroalimenta los relatos románticos entorno a la dicotomía cultura/naturaleza, sino que además se constituye en un medio para alcanzar un fin ideal: la posibilidad de encontrar una estructura perfecta, un “supergen” capaz de borrar las imperfecciones consustanciales del ser humano. La ciencia ficción ha derivado muchos de estas analogías, construyendo símbolos que, *de factum*, sólo promueven y consecuentan el consumo masivo.

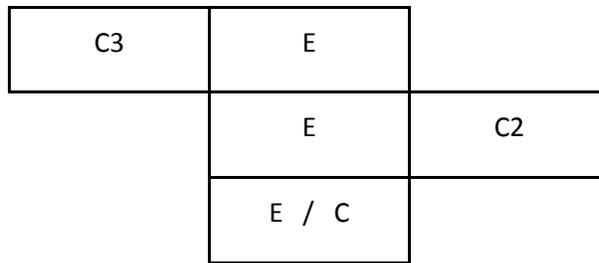
¿Qué ocurre entonces dentro de estas representaciones simbólicas? Podría suponerse que las derivaciones simbólicas mantuvieran por analogía un fundamento y límite de sentido; pero de hecho esto no es así. En términos del mismo Eco, la semiosis hermética genera un crecimiento connotativo de “tipo canceroso”, donde las asociaciones entre términos tiende a perderse en una cadena progresiva, de tal suerte que las propiedades de un término inicial (A) quedan progresivamente desvinculadas con las propiedades de un término posterior (E).

Esta descripción, pero en términos de un sistema de connotación a la manera de Louis Hjelmslev<sup>92</sup>, nos muestra que el crecimiento connotativo canceroso establece asociaciones opuestas —incluso contradictorias—, en donde si bien un sistema de denotación (E-C) se asocia con un contenido (C2); empero este mismo sistema de denotación funciona como expresión (E) en relación con otro contenido (C3), que es en principio diferente y opuesto a (C2). El diagrama que utiliza Umberto Eco<sup>93</sup> para ilustrar este proceso, recurriendo a las herramientas estructurales que propone Hjelmslev, es el siguiente:

---

<sup>92</sup> Cfr. Hjelmslev, L. *Prolegómenos a una teoría del lenguaje*. Madrid: Gredos, 1974.

<sup>93</sup> Cfr. Eco, U. *Los límites de la interpretación*. 1ª edición. Barcelona: Lumen, 1992.



Una consecuencia de esta connotación cancerosa es la permisibilidad para establecer asociaciones indirectas e injustificadas. Es decir, permite establecer vínculos en razón de un “principio de facilidad”, a partir del cual se pueden homologar diferentes tipos de relación analógica. Pero esta posibilidad de la semiosis hermética es, precisamente, el fundamento del cáncer, pues se puede llegar al caso donde “de la analogía morfológica se había pasado a la analogía funcional.”<sup>94</sup> Tomando como base esta reflexión, se afirma entonces que, si el proceso de divulgación de una representación científica funciona a la manera de una semiosis hermética, entonces la construcción de sentido en las representaciones mediáticas se realiza en razón de una “falsa transitividad”, en la cual las relaciones y cualidades propias que constituyen la funcionalidad de un objeto se le atribuyen a otro diferente en razón de la semejanza en la forma de ambos.

En el caso de la estructura del ADN, esta falsa transitividad surge de su configuración misma. Las combinaciones nucleótidas (A, T, G, C) sugieren una sintaxis específica, y estas secuencias de enlaces químicos constituyen la base de la estructura misma. Sin embargo, en sí mismas, estas secuencias no tienen un significado; sino que la labor del científico es establecer asociaciones semánticas en razón de un lenguaje artificial. La consecuencia es clara: “cuando se asocia un sistema sintáctico con un sistema semántico puede interpretarse cualquier sucesión permitida por el sistema sintáctico”. Se convierte así en un sistema

---

<sup>94</sup> Eco, U. *Interpretación y...* Ob. Cit. p. 61.

semiótico donde “cualquier contenido puede convertirse, a su vez, en una nueva expresión que puede ser interpretada o sustituida por otra expresión.”<sup>95</sup>

En este sentido, la estructura sintáctico-icónica del modelo ADN de Watson y Crick establece las condiciones semióticas para iniciar el proceso de analogías progresivas. No obstante, en este proceso que tiende hacia el infinito se olvida un principio semiótico fundamental: en términos de Eco, las metáforas y modelos sólo establecen su referencia dentro de un mundo posible, en el cual la acción de la imaginación y la intuición abductiva permiten establecer posibles límites de sentido.

A fin de cuentas, caracterizar el proceso de divulgación masiva de representaciones científicas como un proceso de semiosis hermética es, en este trabajo, sólo un esbozo de una línea de trabajo sobre la cual se pueden sugerir otras líneas de investigación. Sin embargo, eso no nos impide notar algunos problemas iniciales. En principio, tendría que señalarse el problema epistemológico que supone la semiosis hermética: pues si bien en tanto semiosis genera un crecimiento de sentido, al mismo tiempo impide, como efecto de un crecimiento desproporcionado, la construcción de conocimiento.

A nivel de la información divulgada, lo anterior implica que se estaría obstaculizando la formación de una autoconciencia social del presente como parte de ese conocimiento construido, pero obstaculizado por la semiosis hermética. La cuestión es, en todo caso, considerar que en la interpretación de las representaciones científicas a nivel masivo no ocurre un proceso de “semiosis ilimitada” a la manera de Peirce: en la cual los signos están en relación de interdependencia y transformación significativas; y es entonces cuando el desarrollo social de un lenguaje está determinado por un movimiento de “semiosis ilimitada”, donde el sentido de los diferentes signos está sometido a procesos cambiantes dentro de un “campo” específico.

---

<sup>95</sup> Eco, U. *Los Límites...* Ob Cit. p. 243.

A diferencia de lo que ha ocurrido en la popularización y divulgación masiva del ADN como representación, la condición para que haya un proceso de semiosis es la existencia de signos, y la consecuencia de esta interrelación signica es epistemológica: “pues un signo, al conocerlo, nos hace conocer algo más.”<sup>96</sup> Mientras que en la semiosis hermética, de acuerdo con Umberto Eco, es un proceso de analogías donde un signo nos muestra siempre algo diferente, es decir, otros signos que se relacionan entre sí de manera progresiva; el planteamiento pragmático de Peirce muestra una clara solución a la epistemología del signo, pues el carácter ilimitado de la semiosis tiene como fin el conocimiento: pero como límite afirma el carácter trascendental de una comunidad determinada para establecer aquello que es el sentido social.

---

<sup>96</sup> Peirce, Ch. S. *Escritos...* Ob. Cit. p. 213.

### ***CAPÍTULO 3. FILOSOFÍA DE LA CIENCIA Y REPRESENTACIÓN: PROBLEMAS DE REALISMO Y ENTIDADES TEÓRICAS***

Una vez establecidos los diferentes problemas de sentido generados por las relaciones icónicas y simbólicas que constituyen el modelo de ADN, en este apartado se buscará hacer un ejercicio de interpretación y crítica desde la filosofía de la ciencia. En la primera parte, se dará seguimiento al enfoque pragmático que se ha venido trabajando hasta el momento; para ello se recurrirá a los planteamientos de Hilary Putnam, con la intención de rescatar la noción de “real” en la representación científica.

Luego, desde el enfoque crítico de Paul Feyerabend, se tratará de reflexionar sobre el carácter metafísico de la representación científica del ADN, y desde ahí plantear su valor positivo dentro de un pluralismo de teorías. En ambos caminos filosóficos, se tratará de mostrar el carácter social de la ciencia como fundamento en la construcción del saber científico.

#### ***3.1 Realismo interno y representaciones científicas***

La relación de las representaciones científicas y la entidad a la cual se refieren nos obliga a mirar la cuestión en términos del realismo. Una postura científica moderna que tuvo mucha fuerza fue el llamado “realismo metafísico”. Esta forma de pensamiento filosófico que permeaba muchas de las actividades científicas tiene como fundamento el criterio de “verdad por correspondencia”. Las implicaciones epistemológicas son determinantes: a grandes rasgos afirma que las entidades y objetos que propone una teoría se corresponden con la realidad, y es por esta relación que los términos y conceptos teóricos son verdaderos. Más aún, el carácter metafísico de este realismo permite sostener que existe una realidad que es independiente del conocimiento científico.

Si se acepta esta última afirmación entonces habría que sostener la posibilidad de un universo de objetos, hechos y sucesos que existen con independencia del conocimiento humano. En principio, las implicaciones ontológicas de este realismo no resultan problemáticas si se toma la idea de una realidad independiente como un supuesto inicial en la investigación científica. Sin embargo, el problema surge cuando se toma en consideración una postura epistemológica, pues ello obligaría a reconocer que existe algo como la “cosa en sí”, y que es independiente del entendimiento humano. De ahí que, a nivel epistemológico, el realismo metafísico parece sostener una contradicción inevitable: a saber, el sin sentido de la noción “cosa en sí”<sup>97</sup>.

Para superar este problema se ha optado en este trabajo por una versión de realismo que funciona mejor para explicar el sentido y función de las representaciones. En esta postura filosófica, denominada “realismo interno”, Putnam propone una noción de realismo que resulta mesurado en sus concepciones y, desde una postura pragmática, reivindica el valor del conocimiento que ofrece el “sentido común”<sup>98</sup>. En esta dirección, esta postura pragmática sostiene que el significado de los conceptos y signos está en relación con el uso del lenguaje al interior de una comunidad.

Antes de desarrollar propiamente su noción de realismo, Putnam señala y ataca algunos de los problemas que conlleva el realismo metafísico. Un primer problema que identifica este filósofo es que el pensamiento sustentado en un criterio de verdad por correspondencia parte del supuesto de que el hombre tiene pleno conocimiento de las cosas mismas. En este sentido, el realismo metafísico

---

<sup>97</sup> Contradicción pues, que consiste en afirmar la existencia de una entidad que es independiente del conocimiento humano, y que al mismo tiempo resulta imposible de conocer, pues toda vez que el ser humano conoce, la cosa en sí deja de ser en sí misma. La cosa en sí es, entonces, algo que no puede conocerse en su carácter de en sí misma. Por ello resulta contradictorio afirmar y enunciar su existencia, pues el sólo hecho de afirmarla supondría que puede formar parte del ámbito de conocimientos del ser humano, con lo cual se estaría refutando su propio carácter como cosa en sí.

<sup>98</sup> Cfr. Putnam, H. *Las mil caras del realismo*. Trad. Margarita Vázquez. 1ª edición. Barcelona: Paidós, 1994; y *Razón, Verdad e Historia*. Trad. José Miguel Esteban. Madrid: Tecnos, 1988.

tiene un carácter rigurosamente moderno: el hombre, a través de su racionalidad científica, puede conocer y determinar la naturaleza.

En consecuencia, se establece el predominio de la imagen científica por encima del sentido común. Por ello, la descripción del mundo externo consiste en descripciones matemáticas y lógicas, con lo cual se afirma que las propiedades reales de las cosas pueden ser descritas por un lenguaje formal. Sin duda, esta tendencia del pensamiento moderno es la que subyace al fisicalismo y la creciente necesidad de las ciencias por establecer un método matemático para tener acceso a los contenidos de la naturaleza.

Si se acepta esta postura, queda claro que una representación científica como el ADN no sólo postula la existencia real de una entidad no observable, sino que el lenguaje matemático que sustenta sus representaciones constituye un hecho incuestionable acerca de su verdad. De ahí que, un segundo problema del realismo metafísico es que, dado un criterio de verdad correspondentista, se establecen las condiciones para la formación de dicotomías (verdadero/falso).

Dentro de este planteamiento, se considera que es verdadero sólo aquello que se corresponde con un lenguaje científico formal, de donde resulta falso aquello que es contingente y no puede ser determinado. Así se tienen dos ámbitos dicotómicos: por un lado, la imagen del mundo físico y sus cualidades primarias; por otro, la mente y los datos de los sentidos.

Con base en un esquema dicotómico, un tercer problema es que, desde un enfoque metafísico, se postulan “propiedades intrínsecas” de los objetos, las cuales pueden ser conocidas por medio de un lenguaje científico formal. Esto significa que una representación científica es una herramienta racional que permite reconocer las propiedades de las cosas en sí mismas, y determinar con ello la forma específica de los objetos externos.

Frente a esta postura, Putnam considera que las dicotomías, en todo caso, son de carácter explicativo, no estipulativo<sup>99</sup>. Es decir, que en un sentido analítico sugieren un estado de cosas en términos dicotómicos, pero esta sugerencia no es determinante pues no nos dice cómo son las cosas en realidad. El conocimiento que ofrecen las teorías es conjetural, y sólo muestra hipótesis sobre un estado de cosas posible. En otro sentido, afirma que las “disposiciones” de los objetos en sí mismos pueden en todo caso ser una proyección del sujeto: tratar algo sobre un objeto específico ya implica una intencionalidad subjetiva, que nos lleva a explicar las características del mundo en términos de una proyección, la cual en principio presupone cierta intencionalidad.

La sentencia es clara: las representaciones científicas no muestran las cosas en sí mismas y, en cualquier caso, son proyecciones subjetivas que explican sólo un modo de ver el mundo. En el caso del ADN, el modelo de Watson y Crick nos habla, no de la entidad misma, sino de una cultura científica que proyecta su inclinación a ver el universo en términos de partículas.

Para dar cuenta de estas cuestiones, Putnam plantea la noción de “realismo interno”, como alternativa ante el realismo metafísico (realidad y verdad) y relativismo cultural (donde toda interpretación es válida) y, al mismo tiempo, busca desarrollar una perspectiva que rompa con las dicotomías. Este enfoque filosófico parte de dos supuestos de carácter mentalista: por un lado, acepta que la mente no copia simplemente un mundo descrito por una teoría verdadera; y por otro, que esto no nos lleva a considerar que la mente constituya al mundo. En todo caso se considera que la mente y el mundo, en común, constituyen sólo la mente y el mundo.

En términos generales, el realismo interno afirma que los objetos no existen de manera independiente de los esquemas conceptuales; y si bien acepta que hay objetos en la experiencia, éstos no se dan al sujeto en una determinada relación.

---

<sup>99</sup> Cfr. Putnam, H. “Lo que las teorías no son”. En Olivé y Pérez Ransanz (compiladores). *Filosofía de la Ciencia: Teoría y Observación*. 2ª reimpresión. México: Siglo XXI/Instituto de Investigaciones Filosóficas/UNAM, 2010. Pp. 312 y ss.

La relación, en todo caso, la pone el sujeto, y sólo podemos conocer los objetos si están determinados por relaciones, de suerte que objetos y signos son internos al esquema conceptual, y desde ahí es posible decir qué corresponde con qué. Esto plantea una posición realista, pero sin dicotomías: pues no se sostiene un realismo de carácter correspondentista, sino que la “verdad” de una representación se sustenta en condiciones de “asertabilidad racional”, en donde la “verdad” es un tipo de coherencia ideal.

Es por eso que el realismo interno sólo ofrece como resultado un conocimiento conjetural, es decir, sólo posibilita inferencias, y no descripciones. De donde se sigue que la asertabilidad racional está garantizada por la coherencia interna de los esquemas conceptuales y sistemas de lenguaje que constituyen el fundamento de este realismo. Los objetos y sus atributos dependen de la “elección” de un esquema conceptual, y de ahí que no tiene sentido decir que los hechos y objetos existen de manera independiente a un esquema conceptual. Pues ciertamente los esquemas tienden hacia la clasificación, ya que las maneras de hablar dentro de un esquema conceptual permiten hacer distinciones entre objetos.

Por supuesto que, desde esta postura, las distinciones entre objetos no son necesarias, ni universales, sino que, para Putnam, implican cuestiones de interpretación y reinterpretación, en donde se reconoce y acepta la posibilidad de llegar a interpretaciones no deseadas. En este contexto, las representaciones científicas funcionan en términos de clasificaciones, pues ofrecen categorías necesarias para inferir distinciones entre objetos. Por ello, al interior de un esquema conceptual, las afirmaciones hechas a partir de un modelo son verdaderas en términos de coherencia: es decir, en términos de la relación entre los principios teóricos, el lenguaje y los sentidos inferidos por la representación.

De acuerdo con lo anterior, el realismo interno plantea aceptar que no hay interpretaciones absolutas, y ello implica que de algún modo hay hechos objetivos. Pues en todo caso, no es menester llegar hacia una posición escéptica en la cual se renuncie al mundo empírico. Sino que, más bien, se acepta la

posibilidad de que exista un mundo de experiencia que no está condicionado por el conocimiento del hombre. Empero, hablar de los hechos y objetos sin especificar el lenguaje en uso es no hablar de algo; de donde se sigue que el realismo interno implica la renuncia de la cosa en sí, por ser una noción sin sentido; pero esto no implica negar la posibilidad de conocer la cosa en sí, pues ésta y sus propiedades plantean la alternativa de que algo exista sin la mediación de un lenguaje-esquema.

De acuerdo con lo anterior, la noción de cosa en sí tiene sentido a nivel ontológico, en tanto supuesto que permite contextualizar el conocimiento humano dentro de un universo más vasto y complejo. Pero resulta problemática si se considera a nivel epistemológico, pues en todo caso el hombre conoce sólo a partir del lenguaje<sup>100</sup>.

Esto nos permite considerar que las representaciones científicas sólo sugieren un estado de cosas, y ofrecen una visión sesgada e incompleta del mundo. Pero en tanto inferencia, permite que sea la experiencia misma la que corrobore o refute esa visión, pues desde este enfoque, las representaciones dentro de un realismo interno no son afirmaciones, ni estipulaciones, sólo conjeturas que tienden a ser refutadas.

Así pues, el realismo interno es un sistema de pensamiento que refiere a varios objetos, y dentro del cual se enuncian características, cualidades, propiedades, etc., de esos mismos objetos. La base para la referencia es el propio esquema conceptual, y sólo tienen validez las referencias dentro de ese mismo esquema. Pero, esta postura filosófica es la insistencia de que la “relatividad” conceptual no es incompatible con el realismo, pues busca retomar el “sentido común”, junto con otros esquemas conceptuales, para establecer una idea fuerte del conocimiento sin recurrir a la noción de cosa en sí.

---

<sup>100</sup> Sin duda, esta reflexión nos recuerda algunos pasajes de la filosofía trascendental kantiana. Basta recordar que para Kant el “fenómeno” es aquello que puede ser conocido, es decir, que puede determinarse a través de las representaciones del sujeto. Mientras que el “noumeno” es la cosa en sí, aquello que está más allá del entendimiento y que se plantea como el límite de la razón teórica. Al respecto Cfr. Kant, E. *Crítica de la Razón Pura*. Argentina: Edit. Losada.

Finalmente, esto último no implica que el realismo interno sea una suerte de relativismo, más bien, sostiene que las nociones y conceptos tienen diferentes usos, más que un sólo significado absoluto. Por ello, para Putnam “el internalismo no es un fácil relativismo que afirme que „todo vale“. Si alguien creyese algo semejante, y fuera lo bastante imprudente como para escoger un esquema conceptual que le dijese que puede volar y que obre en consecuencia saltando por la ventana, observaría de inmediato las desventajas de este último punto de vista.”<sup>101</sup> Pues, en todo caso, los conceptos son relativos a una cultura, pero su verdad o falsedad no se decide sólo por la cultura.

### **3.1.1 Solución al problema de la referencia: ¿existe la entidad ADN?**

El análisis de la representación del ADN, propuesta por Watson y Crick, nos lleva a considerar de manera problemática la existencia de una entidad tal que corresponda con ese modelo. Las reflexiones filosóficas que en las siguientes líneas desarrollaremos aluden únicamente al modelo de la doble hélice de 1953 que hemos estudiado en este trabajo, y en modo alguno se extiende hacia las investigaciones y evidencias científicas posteriores, relacionadas con los avances en genética.

Ahora bien, si consideramos esta cuestión, estaríamos dispuestos a dialogar en el sentido propuesto por Maxwell<sup>102</sup>: a saber, considerar que los términos teóricos no dicen algo acerca del estatus ontológico de las entidades que se postulan desde una determinada posición teórica. Aunque, una cuestión importante es reconocer junto con Maxwell que ciertamente el modelo de Watson y Crick condiciona un modo de ver el mundo; es en gran medida un modo de construir lo visual.

---

<sup>101</sup>Putnam, H. *Razón, Verdad... Ob. Cit.* Pp. 63-64.

<sup>102</sup>Cfr. Maxwell, G. “El estatus ontológico de las entidades teóricas”. En Pérez Ransanz, Ana y Olivé, León (compiladores). *Filosofía de la Ciencia: Teoría y Observación*. 2ª reimpresión. México: Siglo XXI/Instituto de Investigaciones Filosóficas/UNAM, 2010. pp. 116 y ss.

En relación con el ADN, esta última cuestión resulta de vital importancia pues se trata de especular sobre la existencia de una entidad que va más allá de la experiencia humana, en tanto es una partícula no observable —o en su defecto observable sólo desde una noción afectada de visibilidad en virtud de ciertos instrumentos. Este problema, que resulta al mismo tiempo ontológico y epistemológico, se circunscribe en la discusión en términos del realismo, para lo cual la postura pragmática de Putnam nos ofrece una salida pertinente con base en la noción de “realismo interno”. La vía que propone este filósofo está estrechamente vinculada con una posición pragmática del lenguaje; por ello, es importante revisar los fundamentos de su filosofía metalista y del lenguaje.

En principio, un primer planteamiento parte de una postura antimentalista: los conceptos que constituyen un lenguaje no significan por sí mismos, y, por tanto, no son representaciones mentales. Y no lo son porque no se refieren “intrínsecamente” a cosas, sino que se refieren a éstas sólo desde una postura externa. Por ello, los conceptos funcionan más bien como símbolos, en tanto son de carácter público y se usan de un cierto modo en determinadas circunstancias sociales.

En contra de las filosofías del lenguaje de corte estructural y lógico, Putnam muestra a través de su ejemplo “la tierra gemela” que el significado de los signos no se establece en razón de relaciones de intensionalidad y extensionalidad. En todo caso, estas relaciones internas dentro de un sistema de lenguaje terminan sosteniendo contradicciones de sentido. De ahí que, los símbolos no se refieran intrínsecamente a algo, sino que la referencia está determinada por cuestiones de índole social (se recurre a los expertos, a una comunidad, etc., para delimitar el significado de un término). Desde esta perspectiva se puede afirmar junto con el autor que los significados no están en la cabeza de los individuos, sino que son el resultado de las interacciones sociales, y del grado de eficacia en el uso de los signos, pues para poder representarlos, un signo tiene que estar acompañado de

una capacidad para actuar de cierta manera, es decir, “la capacidad de utilizar las sentencias de modos situacionalmente adecuados.”<sup>103</sup>

De acuerdo con esto último, el significado de las representaciones científicas se establece entonces en relación con una comunidad científica: el modelo del ADN propone sólo un modo concreto de vincular nociones teóricas, y tiene sentido al interior de una comunidad científica que puede interpretarlo. Por ello, para Putnam, el entendimiento no está constituido por fenómenos, sino más bien por una capacidad del sujeto para “producir fenómenos” que se adecúan a circunstancias sociales concretas. Se podría decir, entonces, que son las circunstancias sociales las que generan la necesidad de producir un fenómeno y mirarlo desde cierta subjetividad.

Esto nos permite mirar la cuestión del ADN desde un enfoque interesante y positivo. Pues siguiendo esta lectura, se puede comprender el surgimiento de la representación del ADN como una consecuencia del contexto social y científico de la época, donde las tendencias científicas del momento (como el fisicalismo) condicionaron a los investigadores a buscar fenómenos microscópicos y ver en ellos la continuidad de las leyes que rigen el universo macroscópico. Desde luego, en esta dirección queda claro que la verdad de una representación y su realidad están determinadas por el contexto social y de conocimiento de un periodo histórico específico.

La sentencia de Putnam es clara: “en suma, la idea de que existe un estado (mental), que es independiente de la lengua nativa del hablante es... seguramente falsa”<sup>104</sup>. Por ello, la creencia de que lo que acontece en el interior de la cabeza de los individuos determina la referencia de las representaciones es, consecuentemente, errónea. No es el estado mental interno el que fija el objeto de referencia de un término, pues como se ha demostrado la referencia y sentido es una cuestión de capacidad social de interacción a través de signos. Pero, cabría

---

<sup>103</sup> Putnam, H. *Razón... Ob. Cit.* p. 31.

<sup>104</sup> Putnam, H. *Representación y realidad: Un balance crítico del funcionalismo*. traducción Gabriela Ventureira. Barcelona: Gedisa, 1990. P. 99.

preguntarse entonces ¿un estado mental colectivo sí fija esa referencia y por tanto la realidad de aquello que se está representando?

Desde la postura de un realismo interno la respuesta sería un contundente “no”. La realidad de aquello que representa el ADN (por ejemplo) y consecuentemente su objeto de referencia, está determinado por la postura “internalista”, es decir por una realidad interna que está constituida por una comunidad de lenguaje que establece los signos y el modo de emplearlos. En este sentido, las representaciones se corresponden con determinados objetos que pertenecen al “esquema conceptual” de los hablantes y usuarios de esa comunidad.

Por ello, al interior de una comunidad científica, el ADN propone una entidad existencial como objeto de referencia, la cual aun cuando no sea observable en términos convencionales, no deja funcionar significativamente al interior de la comunidad de científicos. De ahí que, para Putnam, la pregunta acerca de la referencia específica de una representación es trivial al interior de una comunidad de lenguaje. Queda claro que dentro de esos esquemas conceptuales, o esquemas de lenguaje, la referencia está fijada por el uso de los usuarios y las reglas que en este uso se determinan.

Y entonces el ADN es real y por consiguiente verdadero, pues es una representación coherente dentro de los esquemas teóricos y científicos de la época. En otras palabras, el ADN existe porque hay un sistema de lenguaje dentro de una comunidad que lo dota de esa existencia. Y es por la coherencia interna con este mismo lenguaje que resulta verdadero. Por ello, “desmenuzamos el mundo en objetos cuando introducimos uno u otro esquema descriptivo, y puesto que tanto los objetos como los símbolos son internos al esquema descriptivo, es posible indicar cómo se emparejan.”<sup>105</sup>

---

<sup>105</sup> Putnam, H. *Razón...* Ob. Cit. P. 61.

Sin embargo, esta última afirmación parece sugerir entonces que la experiencia “real” es una consecuencia de la realidad interna. Y por tanto, que la existencia de entidades no observables está determinada por los esquemas descriptivos. Bueno, la solución pragmática que propone Putnam a este problema es una suerte de aristotelismo contemporáneo: por un lado, hay un material de la experiencia que no confronta al sujeto; pero por otro, los objetos, como parte de la experiencia, existen pero no en una determinada relación.

En palabras más extensas, según Putnam se puede afirmar que hay hechos externos que nos afectan por medio de la experiencia; y en este sentido no todo es lenguaje, pues hay hechos que están ahí para ser descubiertos, sin la legislación del ser humano. Sin embargo, la relación de sentido y referencia la pone el lenguaje mismo; de ahí que sólo tiene sentido hablar de objetos a través de un esquema conceptual, pues es sólo a través de estos esquemas que el objeto tiene sentido como tal.

El objeto existe sólo cuando se puede predicar su existencia, es decir, sólo en relación con un sistema de lenguaje que lo determina como objeto, dentro de la realidad interna que este mismo lenguaje postula. Por consiguiente, este planteamiento nos separa de la cuestión ontológica planteada por Maxwell, pues ciertamente no puede asumirse la existencia de algo si no es determinado por un esquema conceptual.

En este sentido, podemos estar ciertos de la existencia del ADN porque hay un conjunto de teorías, marcos conceptuales, y esquemas de pensamiento que hablan y determinan su existencia, aun cuando a ojos del hombre común no pueda ser una entidad que pueda ser experimentada. La experiencia de las partículas microscópicas ocurre sólo de manera simbólica, es decir por mediación de un determinado lenguaje que construye representacionalmente al objeto y los signos con los cuales se puede predicar su existencia.

### **3.2 El ADN una noción metafísica**

La relatoría hecha por Watson y Crick acerca del proceso de construcción del modelo de ADN nos invita a reflexionar, en términos filosóficos, sobre el desarrollo teórico y metodológico que encaminó a los científicos a proponer una estructura para una entidad no observable. Planteado en términos teóricos, y sin la evidencia empírica que permitiera interpretaciones teóricas, este modelo es un caso específico que tiende a problematizar la dicotomía teoría/observación.

Parte del proceso de configuración espacial del ADN consistió en sugerencias teóricas respecto a su forma helicoidal: bajo los mismos fundamentos teóricos en estudios cristalográficos Pauling proponía una triple hélice, mientras que Franklin afirmaba la imposibilidad de una estructura helicoidal. Lo interesante y problemático es que la doble hélice fue la hipótesis defendida por Watson, quien en realidad era el menos versado en estudios sobre química y cristalografía. Las fotografías B de Franklin funcionarían posteriormente como argumento definitivo en favor de la doble hélice, pero la cuestión epistemológica está en dar cuenta de cómo la opinión intuitiva del menos versado fue la más acertada<sup>106</sup>.

El punto está en considerar el sentido “metafísico” de los términos teóricos y, en esta dirección, la propuesta del modelo ADN es una suerte de noción metafísica afortunada. En virtud de lo anterior, en este apartado se revisará el planteamiento filosófico de Feyerabend en relación con la metafísica de las teorías y su necesaria existencia en el desarrollo del conocimiento científico.

Para este autor<sup>107</sup>, es importante considerar que la dicotomía teoría/observación no puede sostenerse: la experiencia y el contenido teórico forman parte de una misma unidad —la cual quizás por cuestiones explicativas de

---

<sup>106</sup> Al respecto, resulta interesante cómo el propio Watson reconoce la intuición, el sentido común y la imaginación como parte del proceso racional que lo llevaron a proponer el modelo ADN. Cfr. Watson, J. *La doble hélice*. Trad. María Luisa Rodríguez. 3ª edición. España: Editorial Alianza, 2011

<sup>107</sup> Cfr. Feyerabend, P. “Problemas del empirismo”. En Pérez Ransanz, Ana y Olivé, León (compiladores). *Filosofía de la Ciencia: Teoría y Observación*. 2ª reimpression. México: Siglo XXI/Instituto de Investigaciones Filosóficas/UNAM, 2010. Pp. 279 y ss.

análisis se puede separar—, en principio hay que reconocer que la experiencia es esencialmente conceptual. En otras palabras, se afirma que una teoría condiciona un modo de ver el mundo, pues establece una posición fija desde la cual tener una experiencia particular. Por consiguiente, el científico sólo puede observar precisamente aquello que la teoría misma (o conjunto de teorías) le permite y, de esta manera, la experiencia está de manera necesaria condicionada por una carga teórica previa.

Para Feyerabend, este es el punto cuestionable. Si una teoría muestra sólo una parte del objeto empírico y, en ese sentido, cada teoría muestra sólo una parte; entonces todas las teorías son insuficientes para dar cuenta de los objetos de la experiencia. Más aún, la diversidad de teorías implica diversidad de observaciones, que en conjunto tienden a ser inconmensurables entre sí. De ahí que, una conclusión importante dentro del proceso de conocimiento científico es aceptar que la experiencia ya no es un criterio para cuestionar y refutar (o bien corroborar) el contenido teórico.

En todo caso, debe quedar claro que un tema vigente y de vital importancia es encontrar la manera de confrontar el contenido teórico, en aras de poder generar el progreso científico. Lo que se ha afirmado hasta este momento es que la experiencia, desde este punto de vista, ya no es un criterio de confrontación con las teorías. Si lo fuera, se caería de manera inevitable en alguna forma de escepticismo: o bien en el “relativismo” donde muchas teorías generan muchas observaciones, todas igualmente válidas; o en su defecto en el “círculo vicioso”, donde una teoría genera su propia observación y a su vez esta observación confirma su teoría.

Pero el problema se complica si se considera el caso del presente estudio. El modelo de ADN es una construcción teórica que en principio no estaba cimentada sobre la base de una experiencia concreta. Para la época, no había los instrumentos de observación ni el lenguaje observacional que permitieran tener la experiencia de una partícula microscópica. Una entidad no observable va más allá

de los alcances de la experiencia, y en consecuencia no puede ser esta última un criterio sobre el cual fundamentar la pertinencia de una noción teórica.

De los múltiples recursos “irracionales”<sup>108</sup> de los que dispone un científico para validar o no su teoría se encuentra la posibilidad de proponer nuevos términos, cuya función propositiva es de naturaleza metafísica: es decir, términos teóricos que no se confrontan con la experiencia.

Así pues, la propuesta de Feyerabend consiste más bien en establecer relaciones entre teorías y a partir de ahí encontrar posibles contradicciones internas. Dentro del proceso de conocimiento, está la posibilidad de que una teoría, que es inadecuada con el punto dominante, se apoye en otra teoría para ganar fuerza entre ambas. En este camino, la experiencia ya no es fundamento de las teorías mismas y, por tanto, surgen desde las teorías mismos principios teóricos y metodológicos que no se cimientan en la confrontación con los hechos. Por supuesto, esto mismo implica un cambio en los términos del lenguaje, que conlleva *a posteriori* un cambio en la forma de la experiencia; pero en todo caso la experiencia misma ya no es fundamento, ni criterio.

En este proceso, las nociones metafísicas son de vital importancia, pues funcionan como criterios externos a la teoría que posibilitan mostrar sus inconsistencias. Por ello, para establecer una crítica a la teoría “necesitamos un conjunto de supuestos alternativos... necesitamos construir un mundo alternativo completo, necesitamos un mundo soñado para descubrir los rasgos del mundo real en el que creemos habitar.”<sup>109</sup> Ese conjunto de supuestos metafísicos está conformado por una serie de términos que se aventuran a proponer un orden racional del mundo, sin confrontarse ni comprometerse con los hechos.

---

<sup>108</sup> Cabe mencionar que si bien Feyerabend llama irónicamente a estos recursos como “irracionales”, en realidad reconoce que es por medio de éstos que la ciencia ha avanzado a lo largo de su historia. Hipótesis *ad hoc* y cláusulas *ceteris paribus* son parte de los recursos que el científico ha utilizado en el devenir del conocimiento para salvaguardar sus propias teorías. Al respecto, cfr. Feyerabend, Paul. *Tratado contra el Método*. Trad. Diego Ribes. 6ª edición. Madrid: Tecnos, 2010

<sup>109</sup> Feyerabend, P. *Tratado...* Ob. Cit. p. 16.

Las nociones metafísicas, a fin de cuentas, son un intento por romper la dinámica científica que busca confrontar las teorías con la evidencia empírica. En todo caso, es desde una metafísica altamente racional que se busca confrontar los experimentos y confundir los principios teóricos. El valor de esta postura consiste en introducir, por medio de la imaginación y la intuición, un nuevo mundo de percepciones imaginables que no han sido consideradas por las teorías y que, por tanto, no formen parte del mundo perceptual establecido.

Por supuesto, este proceso a partir de términos metafísicos es contrainductivo, pero en todo caso para Feyerabend la contrainducción es totalmente razonable: es una manera de avanzar en el desarrollo y fortalecimiento de las teorías, sin la pesantez de la evidencia empírica. Más aún, es desde una metafísica que la ciencia misma puede avanzar racionalmente y de manera adecuada, pues la imaginación le permite al científico plantear los casos que la teoría no había considerado dentro de sus alcances observacionales —por su “propia ceguera hacia los hechos que determina” —; y con ello muestra las inconsistencias teóricas que, de otro modo, no habrían podido salir a la luz.

Desde el punto de vista de la biología, el desarrollo del modelo ADN de Watson y Crick funcionó como un supuesto metafísico: no logró mostrar las insuficiencias teóricas de las explicaciones biológicas de la época, sino que además la estructura del ADN se propuso sin evidencia firme y suficiente, con lo cual se constituyó como una propuesta teórica que fue más allá de lo que se podía observar, estimulando así la intuición científica. Pero además, sugiere a partir de la interdisciplinariedad nuevos caminos teóricos y metodológicos en el estudio de los procesos biológicos. En este sentido, la intuición de Watson es resultado, no de la deducción teórica, sino de la imaginación que surge por efecto del cuerpo de teorías que conformaban el imaginario colectivo científico.

En este sentido, Watson y Crick fueron más allá de su formación científica: buscaron determinar el mecanismo y funcionamiento de partículas moleculares, proponiendo un modelo visual de una entidad microscópica que escapaba al campo de observación biológica. Si bien es cierto que su imaginación e intuición

estaba condicionada por otras tendencias teóricas (como el estudio de partículas de la física cuántica), empero el proceso de configuración del ADN muestra precisamente que la relación entre teorías es una condición fundamental para intuir un mundo posible más allá de la experiencia.

### **3.2.2 *Pluralismo teórico y el desarrollo del conocimiento científico***

El caso del modelo de ADN propuesto por Watson y Crick muestra, a la luz de la historia de la ciencia, que la inconmensurabilidad entre teorías a la manera de T. Kuhn ocurre en pocas ocasiones a lo largo del desarrollo del conocimiento. Para este último autor la inconmensurabilidad es el resultado de los cambios semánticos entre teorías rivales, de tal suerte que cada postura teórica genera sus propios términos y significados. Cada teoría construye un modo de ver el mundo, que no es traducible en términos de otra teoría, pues no abordan las mismas cosas, los mismos problemas, ni las mismas preguntas. De ahí que, en la elección de una teoría sobre otra se evidencia la ausencia de un criterio racional último que justifique adecuadamente la elección y reemplazo entre diferentes puntos de vista teóricos.

En cambio, para Feyerabend, la inconmensurabilidad entre teorías existe, y cada salto teórico representa nuevos puntos de distancia teórica; pero está no se presenta como un problema en la historia de la ciencia, pues las teorías son ciertamente interpretables entre sí. Por eso, a través de cierta interpretación la inconmensurabilidad puede no mostrarse como un problema en determinadas circunstancias.

Las interpretaciones de principios químicos y físicos en el estudio de moléculas se circunscribe a esta descripción filosófica: pues la traducción de principios teóricos en la imagen tridimensional del ADN implica, no sólo un proceso de interpretación de conceptos, sino además construye un espacio de diálogo donde las teorías que son inconmensurables en principio se articulan de manera complementaria.

Para Feyerabend, el “pluralismo de teorías” propone la posibilidad de pensar un enfoque teórico que sea incompatible con las observaciones establecidas (heredadas de otras posturas teóricas), pero que sea capaz de generar nuevos hechos observables. Esto no implica que haya una teoría tal que se corresponda con la realidad y, por ello, genere nuevos hechos. Pues en todo caso “los entes científicos (y en realidad todos los entes) son proyecciones y, por consiguiente, están atados a la teoría, la ideología y la cultura que los postula y proyecta.”<sup>110</sup>

En este sentido, las teorías son “mecanismos de proyección” que objetivizan los hechos y entidades postuladas dentro de un marco de conocimientos. Este marco de conocimientos está constituido por los diferentes sistemas de lenguaje desde los cuales una cultura edifica su visión del mundo. Y es en este punto donde resulta importante el pluralismo teórico: pues posibilita observar nuevos hechos y entidades desde posturas diferentes. Si bien una teoría puede entenderse como un conjunto de proposiciones, empero su función es objetivar las entidades que desde la teoría misma se proponen, es decir, convierten los hechos y entidades en objeto de conocimiento que puede ser predicable a través de un lenguaje.

Pero los medios y recursos teóricos sobre los cuales proyectar objetivamente una entidad o hecho son diversos, y resultan igualmente válidos. Por eso es que la postura “anarquista” de Feyerabend defiende la inexistencia de un método, pues a lo largo de la historia de la ciencia lo que se ha demostrado es la aplicación de varios métodos. No existe un método, sino varios que están en mutua relación de complementariedad.

En el caso concreto del ADN, es el mismo Watson<sup>111</sup> quien reconoce la necesidad de recurrir a las “ciencias verdaderas” (física y química) para realizar las investigaciones que van más allá de los alcances de la biología (de mediados

---

<sup>110</sup> Feyerabend, P. *Provocaciones filosóficas*. Trad. Ana P. Esteve Fernández. 1ª edición en español. Madrid: Biblioteca Nueva, 2003. P. 57.

<sup>111</sup> Véase: Watson, J. *ADN. El secreto de la vida*. Trad. Irene Cifuentes. 5ª edición. España: Taurus, 2006

del siglo XX). En términos de Feyerabend, lo que reconoce Watson es que desde la perspectiva de otras teorías se muestran hechos y entidades que, en principio, no están en el campo experimental de la teoría en uso (en este caso la biología). Pues en gran medida, las condiciones teóricas, metodológicas e históricas disponen de un particular modo de observar el mundo, que resulta incompleto para dar cuenta de los objetos de la experiencia.

Por ello, el pluralismo contribuye a relacionar teorías y complementar enfoques observacionales en la reconstrucción racional de los hechos. Y no es el caso que, dentro del desarrollo plural del conocimiento, una teoría refute a otra. La descripción de Feyerabend es puntual: pues si es el caso que dos teorías estén en relación con un mismo hecho u objeto, y si una tercera teoría (3) entra de igual manera en relación con ese mismo objeto/hecho de tal manera que establece una relación entre T (1) y T (2); entonces esta relación no demuestra que T(1) sea falsa ni verdadera, sino en todo caso que las tres teorías están en una determinada relación de complementariedad. Desde esta perspectiva, lo que para una teoría es una anomalía que la hace inconsistente en la observación, para otra esta misma anomalía puede ser explicada dentro de su propio campo observacional.

De ahí que la inconmensurabilidad como resultado de ciertas maneras de interpretar el mundo no impide la interrelación entre teorías y, en un sentido positivo, esta inconmensurabilidad es necesaria para mirar un mismo objeto desde diferentes enfoques. De ahí que las representaciones científicas resultan más sólidas cuando su fundamento está construido a partir de la interdisciplinariedad y la multiplicidad de enfoques teóricos. Sin duda, el cimiento interdisciplinario del modelo de ADN hizo que la estructura propuesta fuera más sólida, no por corresponderse con una evidencia, sino porque se correspondía con muchas de las teorías científicas de la época.

El problema de la representación científica es que se suele asumir que se corresponde con los atributos del objeto representado. Sin embargo, la historia de la ciencia muestra que esta imagen, su extensión y estructura interna, es el

resultado de los instrumentos, teorías y los ojos del observador. La construcción de representaciones sólo es posible cuando se establecen “ciencias auxiliares” que determinan un campo de contrastación, al tiempo que permiten describir los procesos de los que se da cuenta. Por eso, en términos de Feyerabend, las observaciones se hacen significativas después de que los procesos descritos por las ciencias auxiliares median entre el ojo del observador y el mundo de la experiencia.

De ahí que, entre los principios de la física cuántica y la química estructural, es la naciente biología molecular la que funciona como ciencia auxiliar que establece un campo de contrastación, dentro del cual se describen los procesos bioquímicos de las entidades moleculares. El modelo de ADN resultó significativo, más allá de las comunidades científicas, cuando a través de la biología molecular se estableció un lenguaje observacional que permitió acceder a la observación de una entidad no observable, y desde este lenguaje, propone nuevos objetos de la experiencia.

Sin embargo, la formación de sentido es mucho más compleja: para entender el ADN el hombre moderno debía habituarse a ver el universo en términos de partículas. Para Feyerabend “lo que falta para realizar una contrastación... es una concepción del mundo completamente nueva que incluya una nueva concepción del hombre y de sus facultades de conocimiento”<sup>112</sup>. En el caso de la biología y la genética, se necesitaba una nueva concepción de vida, donde su complejidad y trascendencia se definieran en términos de procesos químicos y físicos... de tal suerte que la vida sea vista como un mecanismo, y en donde el ADN pueda ser entendido como la “molécula de la vida”.

---

<sup>112</sup> Feyerabend, P. *Contra...* Ob. Cit. p. 139.

## CONCLUSIONES

En términos generales, el estudio del modelo ADN propuesto por Watson y Crick nos lleva a considerar desde diferentes aristas los problemas implicados en relación con las representaciones científicas. Empero, si bien esta investigación es sólo una caracterización concreta de ciertos problemas semióticos y filosóficos, en todo caso nos permite vislumbrar cuestiones epistemológicas implicadas en el ámbito de la filosofía de la ciencia.

Las conjeturas derivadas de este estudio sugieren una postura crítica frente al realismo metafísico, la cual se circunscribe a algunas de las consideraciones ya planteadas por el filósofo de la ciencia Javier Echeverría<sup>113</sup>. El análisis semiótico-filosófico de modelos científicos nos muestra, a manera de recordatorio, que la ciencia trabaja con sistemas de signos, y que dentro de este sistema se construyen modelos explicativos cuya validez y sentido están determinados por la coherencia interna dentro de un sistema de lenguaje.

Más aun, y siguiendo a Echeverría, estos modelos son verdaderos sólo por la interrelación e intercorrespondencia que existe entre diferentes sistemas de signos. En este sentido, una representación científica es verdadera no por su correspondencia con la evidencia empírica, sino por el sentido de verdad (de nuevo, verdad por coherencia) que se construye a partir de los argumentos y explicaciones que surgen en la convergencia de otros sistemas de signos. Planteado así, un modelo científico tiene significado sólo en relación con otro sistema de lenguaje, diferente del sistema del cual surge.

---

<sup>113</sup> Cfr. Echeverría, Javier. "Consideraciones sobre una semiología de la Ciencia". En *Crítica (Revista Hispanoamericana de Filosofía)*. Volumen 17, No. 51. México: Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto de Investigaciones Filosóficas, 1985. Pp. 71 y ss.

En virtud de estas consideraciones, se puede afirmar que la ciencia no trabaja con unidades atómicas: es decir, no trabaja con signos aislados cuya verdad esté determinada por su correspondencia con el objeto de referencia. Plantear el conocimiento científico en términos de un realismo metafísico abre la posibilidad de considerar que sus conceptos, signos y representaciones son unidades que denotan de manera aislada objetos y se corresponden con éstos. Sin embargo, tal y como se mostró en el análisis del modelo de ADN, la ciencia construye “ensamblajes de signos”<sup>114</sup> o secuencias semióticas, que surgen de la intercorrespondencia entre diferentes sistemas de signos, en los cuales se plantean estructuras sígnicas a partir de las cuales se proponen sentidos y significados acerca de un estado posible del mundo. Así pues, la verdad es una configuración a partir de sistemas de signos y, desde ahí, el sentido del mundo no es una esencia de naturaleza empírica, sino una construcción social de naturaleza semiótica.

Por ello, en una dirección más amplia, la verdad científica y el sentido del mundo son el resultado no sólo de la interrelación entre lenguajes científicos, sino que involucran diferentes lenguajes que, en tanto sistemas o códigos, conforman el tejido social que define lo real en un momento histórico específico. Dicho de otro modo, aquello que es considerado como verdadero y real (al interior de una sociedad) lo es en tanto se encuentra en la intersección de diferentes sistemas de lenguaje, en donde la ciencia, la política, la religión, el arte... construyen la urdimbre de signos con los que se define aquello que puede ser real, no como posibilidad, sino como determinación cultural.

De ahí que, tal y como señala Paul Feyerabend, un conocimiento social puede involucrar no sólo a la ciencia, sino que está puede verse complementada y enriquecida (y aún superada) por la religión o el arte. Y, en esta orientación, el conocimiento científico siempre estará aparejado a significados sociales, de naturaleza simbólica, que determinen su validez y sentido. Por ello, en palabras de Erwin Schrödinger “la finalidad de la ciencia, y su valor, son los mismos que los

---

<sup>114</sup> Término de J. Echeverría

de cualquier otra rama del conocimiento humano. Ninguna de ellas por sí sola tiene finalidad y valor. Sólo las tienen todas a la vez...”<sup>115</sup> Lo cual nos lleva a reconocer, no sólo las diferentes formas que puede tener el conocimiento, sino la pertinencia de considerar que la razón se manifiesta de diferentes maneras.

No obstante, lo real y verdadero como construcciones sígnicas muestran una función epistemológica al interior de la ciencia: a saber, la posibilidad configurar objetos para poder ser experimentados sólo a través de modelos y representaciones. En este sentido, la experiencia y, por ende, lo experienciable sólo es posible por la mediación de representaciones que construyen *a priori* las condiciones sobre las cuales un objeto puede ser un objeto de experiencia. De ahí que puede afirmarse que los científicos no se confrontan directamente con la contingencia empírica, sino con los signos que representan aquellos objetos de la experiencia; y es sobre estas representaciones y ensamblajes de signos que la ciencia interviene sobre la “naturaleza” para generar a partir de ahí conocimiento.

Ahora bien, una vez revisadas algunas consideraciones concluyentes en términos de representaciones científicas, realismo y filosofía de la ciencia, resulta interesante revisar ahora a manera de conclusión algunas consideraciones epistemológicas y sociales acerca del modelo ADN en particular. Paul Feyerabend afirma, en su ensayo “Dioses y átomos”<sup>116</sup>, que la biología molecular y las investigaciones en torno al ADN tuvieron éxito, no porque hicieran contribuciones realmente decisivas, sino porque siguieron “el camino más fácil”. Bueno, en este trabajo no se ha querido sugerir, en modo alguno, una posición cercana a esta opinión.

En todo caso, lo que se ha mostrado a lo largo del recorrido (desde la semiótica hasta la filosofía) es que el sentido de una representación científica como el ADN está determinado por dos procesos de conocimiento diferentes, y complementarios. Por un lado, se puede concluir que el significado del ADN dentro

---

<sup>115</sup> Ver. Schrödinger, Erwin. *Ciencia y Humanismo*.

<sup>116</sup> Cfr. Feyerabend, P. *Provocaciones...* Ob. Cit. pp. 53 y ss.

de la comunidad científica es resultado de un proceso de derivación semántica: en donde los principios teóricos de las posturas más sólidas de la época orientaron la configuración estructural. En este sentido, el modelo de Watson y Crick respondió a las tendencias e inquietudes científicas de un periodo histórico, y desde ahí se puede decir que el valor de este modelo es deductivo, pues sólo confirma y caracteriza las propuestas teóricas vigentes.

De acuerdo con lo anterior, la forma estructural del ADN fue resultado de un proceso de inferencia en donde las explicaciones más probables y deseables se circunscribieron al conjunto de conocimientos establecido. Dicho de otra manera, el éxito científico del modelo de Watson y Crick ocurrió por efecto de haber confirmado en lo concreto-visual las teorías más sólidas de la época y, en esta dirección, haber sido consecuente con los postulados teóricos más rigurosos que constituyen una cultura epistémica.

Por otro lado, el significado del modelo de ADN en ámbitos sociales no científicos, fue consecuencia de los procesos icónicos y simbólicos que permitieron diversas analogías metafóricas. Los discursos y metáforas utilizados por los propios científicos contribuyeron a establecer las condiciones de interpretación simbólica de una representación científica. El modelo se convirtió en un referente por la posibilidad misma que planteó su construcción icónica: las semejanzas icónicas derivaron en semejanzas simbólicas; y entonces el mecanismo de la analogía promovió relaciones de similitud subsecuentes que se extendieron de manera infinita en el espacio social.

Ambos sentidos se imbricaron de tal manera que el modelo de ADN se transformó y deformó hasta constituirse en un ícono de la cultura moderna: no sólo como el pináculo de la ciencia, sino como el fundamento mismo de la vida. Los esfuerzos científicos por demostrar los “mitos” y errores que se derivan de la representación propuesta por Watson y Crick no ha podido romper el halo simbólico que permea a nivel social la estructura de la doble hélice. Pero es en todo caso, como se ha insistido en otros apartados de este trabajo, es en la socialización del signo que éste construye su verdadero sentido.

Lo que se ha mostrado entonces es la función social de las representaciones científicas. Pues una teoría bien confirmada no resulta significativa y trascendente sino es simbolizada por una sociedad determinada. El conocimiento del sentido común y las creencias juegan un papel importante al momento de interpretar los rasgos de una teoría. Y en algunos casos, es el significado simbólico de la teoría científica lo que permite el avance del proceso de conocimiento.

La ciencia y sus productos son resultado de inferencias acerca de un orden posible del mundo, que le permiten sugerir configuraciones visuales que posibiliten posteriormente otras inferencias. Pero el razonamiento científico no se deriva sólo de deducciones formales, ni planteamientos matemáticos. Incluso el mismo Watson reconoce que mucho del sustento teórico de la teoría cristalográfica y la química estructural son consecuencia del sentido común y la intuición.

Las ciencias se derivan de un contexto social, y es desde este ámbito que sus conceptos y categorías adquieren sentido. Las innovaciones científicas sólo resultan significativas si hay un espacio social en donde sean interpretadas. Pues, en cierta medida, lo que hace valioso el trabajo del hombre es la posibilidad de establecer lazos sociales, vínculos que construyen en comunidad la posibilidad de que exista el mundo mismo.

Al final, la ciencia sólo muestra una posibilidad, y en este sentido, no es diferente del arte o la religión: todos estos ámbitos nos muestran entidades, personajes y demonios que forman parte de la vida cotidiana. A la manera de Nietzsche “la ciencia tiene en común con el arte que lo más cotidiano le parece completamente nuevo y atractivo, como si acabase de nacer gracias al poder de un conjuro y fuese experimentado ahora por primera vez...”<sup>117</sup>

---

<sup>117</sup> Cfr. Nietzsche, F. *Consideraciones intempestivas*. España: Aguilar, 1989. P. 123.

## HEMEROGRAFÍA

- Cortiñas Rovira, Sergi. “Las metáforas del ADN: una revisión de los procesos divulgativos”. En *Journal of Science Communication*. Volúmen I. Marzo, No. 7. Estados Unidos: International School for Advanced Studies, 2008.
- Crick, Francis. "Central dogma of molecular biology." En *Nature*. No. 5258. Reino Unido: Nature Publishing Group, 1970.
- Echeverría, Javier. “Consideraciones sobre una semiología de la Ciencia”. En *Crítica (Revista Hispanoamericana de Filosofía)*. Volúmen 17, No. 51. México: Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto de Investigaciones Filosóficas, 1985.
- Fuentes Leal, Mariela. “En busca del ADN de la escritura en Historia de una absolución familiar de Germán Marín”. En *Acta Literaria*. No. 41. Chile: Universidad de Concepción, 2010.
- Martín Marsá, Sonia. “Sobre genes y metáforas científicas”. En *Fragmentos de Filosofía*. No. 8. España: Universidad de Sevilla, 2010.
- Rentetzi, María. “The Metaphorical conception of Scientific Explanation: rereading Mary Hesse”. En *Journal for General Philosophy of Science*. Vol 36, No. 2. Alemania/Holanda: Springer, 2005.
- Suarez, Edna y Barahona, Ana. “Física y biología en el nacimiento de la Biología Molecular: la determinación de la estructura del ADN”. En *Llull (Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas)*. Volumen 15. España: Universidad de Zaragoza, 1992.
- Watson, James y Crick, Francis. “Molecular Structure of Nucleic Acids”. En *Nature*. No. 4356. Reino Unido: Nature Publishing Group, 1953.

- Watson, J. y Crick, F. “Genetical implications of the structure of deoxyribonucleic acid”. En *Nature*. No. 171. Reino Unido: Nature Publishing Group, 1953.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Allen Harris, Randy. *Landmark Essays on Rhetoric of Science: Case Studies*. 1ª edición. Estados Unidos: Hermagoras/LEA, 1997.
- Aparici, Roberto, et al. *La imagen: análisis y representación de la realidad*. Barcelona: Gedisa, 2009.
- Asimov, Isaac. *Breve historia de la química: introducción a las ideas y conceptos de la química*. Trad. Alfredo Cruz. Madrid: Alianza, 1975.
- Barahona, Ana y Piñero, Daniel. *Genética: la continuidad de la vida*. México: FCE, 2000.
- Barahona, Ana. *El siglo de los Genes: patrones de explicación genética*. España: Alianza, 2009.
- Beuchot, Mauricio. *Epistemología y Hermenéutica analógica*. 1ª edición. México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2011.
- ----- . *Elementos de semiótica*. 3ª edición. México: Editorial Surge, 2000.
- Black, Max. *Models and Metaphors: studies in language and philosophy*. 1a edición. Ithaca: Cornell Univerty Prees, 1962.
- ----- . *Language and philosophy. Studies in method*. 1a edición. Ithaca: Cornell Univerty Prees, 1950.

- Brown, Theodore. *Making Truth. Metaphor in Science*. Estados Unidos: University of Illinois Press, 2003.
- Ceccarelli, Leah. *Shaping Science with Rhetoric. The cases of Dobzhansky, Schrödinger and Wilson*. 1a edición. Estados Unidos: The University of Chicago Press, 2001.
- Crick, Francis. *Of molecules and men*. Seattle: University of Washington, 1976.
- ----- . *La vida misma: su origen y naturaleza*. Trad. José Ramón Pérez. México: FCE, 1985
- Eco, Umberto. *Tratado de Semiótica General*. Trad. Carlos Manzano. Barcelona: Nueva Imagen, 2000.
- ----- . *Interpretación y sobreinterpretación*. 1ª edición. Reino Unido: Cambridge University Press, 1995.
- ----- . *Los límites de la interpretación*. 1ª edición. Barcelona: Lumen, 1992.
- ----- . *et al. Análisis de la Imagen*. Argentina: Tiempo contemporáneo, 1978.
- Feyerabend, Paul. *Tratado contra el Método*. Trad. Diego Ribes. 6ª edición. Madrid: Tecnos, 2010.
- ----- . *Provocaciones filosóficas*. Trad. Ana P. Esteve Fernández. 1ª edición en español. Madrid: Biblioteca Nueva, 2003.

- Geertz, Clifford. *La Interpretación de las Culturas*. 8ª reimpresión en español. España: Gedisa, 1997.
- Golinski, Jan Making. *Making Natural Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- Gross, Alana. *The rhetoric of Science*. 1ª edición. Estados Unidos: Harvard University Press, 1990.
- Hacking, Ian. *Representar e Intervenir* 1ª. edición en español. UNAM/Paidós, 1996.
- Hjelmslev, L. *Prolegómenos a una teoría del lenguaje*. Madrid: Gredos, 1974
- Hesse, Mary. *Models and analogies in science*. Estados Unidos: University of Notre Dame Press, 1970.
- Kevles, Daniel y Hood, Leroy (editors). *Scientific and social issues in the Human Genome Project*. 1ª edición. Estados Unidos: Harvard University Press, 1993.
- Knorr-Cetina, Karin. *Epistemic Cultures. How the Sciences Make Knowledge*. Cambridge : Harvard University Press, 1999.
- Latour, Bruno y Woolgar, Steven. *Laboratory life: the construction of scientific life*. 2ª. edición. Estados Unidos: Princeton University Press, 1986.
- Magariños de Moretín, Juan Ángel. *Los fundamentos lógicos de la Semiótica y su práctica*. 1ª edición. Buenos Aires: Edical, 1996.
- Masmela, Carlos. *Dialéctica de la imagen*. España: Antrophos, 2006.

- Nelkin, Dorothy y Lindee, Susan. *The DNA Mystique. The gene as a cultural icon*. Estados Unidos: University of Michigan Press, 2004.
- Newton-Smith, William (editor) *A Companion to the Philosophy of Science*. Estados Unidos: Blackwell, 2000.
- Olivé, León y Pérez Ransanz, Ana (compiladores). *Filosofía de la Ciencia: Teoría y Observación*. 2ª reimpresión. México: Siglo XXI/Instituto de Investigaciones Filosóficas/UNAM, 2010.
- Ortony, Andrew. *Metaphor and Thought*. 2ª edición. Inglaterra: Cambridge University Press, 1993.
- Parret, Hermán. *Semiótica y Pragmática: Una comparación evaluativa de marcos conceptuales*. Trad. María Teresa Poccioni. Buenos Aires: Edicial, 1993.
- Peirce, Charles Sanders. *Lecciones sobre el Pragmatismo*. Trad. Dalmacio Negro Pavón. Col. Biblioteca de iniciación filosófica. 1ª edición. Argentina: Aguilar editores, 1978.
- ----- . *Collected Papers*. Estados Unidos: Harvard University Press, 1939.
- ----- . *La ciencia semiótica*. Buenos Aires: Nueva Visión, 1974.
- ----- . *Escritos filosóficos*. México: Colegio de Michoacán, 2000.
- Putnam, Hilary. *Representación y realidad: Un balance crítico del funcionalismo*. traducción Gabriela Ventureira. Barcelona: Gedisa, 1990.

- ----- . *El Pragmatismo. Un debate abierto*. Trad. Roberto Rosaspini. Barcelona: Gedisa, 1999.
- ----- . *Mind, language, and reality*. New York: Cambridge University Press, 1975.
- ----- . *Razón, Verdad e Historia*. Trad. José Miguel Esteban. Madrid: Tecnos, 1988.
- ----- . *Las mil caras del realismo*. Trad. Margarita Vázquez. 1ª edición. Barcelona: Paidós, 1994.
- Urban, Wilbur. *Lenguaje y Realidad*. Trad. Carlos Villegas. 1ª edición en español. México: FCE, 1952.
- Vera, José Luis (coordinador). *Mente, Cultura y Evolución*. 1ª edición. México: ENAH, 2009.
- Watson, James. *ADN. El secreto de la vida*. Trad. Irene Cifuentes. 5ª edición. España: Taurus, 2006.
- ----- . *La doble hélice*. Trad. María Luisa Rodríguez. 3ª edición. España: Editorial Alianza, 2011.
- Zunzunegui, Santos. *Pensar la imagen*. Madrid: Cátedra, 1989.