

EL GEN: ¿ENTIDAD DADA O CONSTRUÍDA? **Reflexiones sobre la historicidad de los objetos científicos.**

THE GENE: A GIVEN OR CONSTRUCTED ENTITY? **Reflections on the historicity of scientific objects.**

Por: Julio Alejandro Castro Moreno¹

Recibido: 13-09-2010

Aceptado: 23-11-2010

Resumen

Se utiliza el ejemplo de cómo se constituyó históricamente el gen como objeto científico, para plantear algunas discusiones entre el realismo extremo y el constructivismo radical. Se argumenta que estas dos perspectivas tienen problemas que se pueden salvar si se asumen los objetos científicos y los sujetos de conocimiento como entidades históricas. Esa historicidad conlleva el reconocimiento de las interrelaciones entre ontología histórica y epistemología histórica. Por otra parte, se analizan las implicaciones didácticas que han tenido el constructivismo y el realismo, así como la necesidad de reconsiderar, con base en la discusión previa, la pertinencia de las estrategias de enseñanza que se sustentan desde esas perspectivas.

Palabras clave: Gen, objetos científicos, historicidad, ontología, epistemología, constructivismo, realismo.

Abstract

We use the example of how the gene was historically constituted as a scientific object, to raise some discussions between extreme realism and radical constructivism. It is argued that these two perspectives have problems that can be passed if we take scientific objects and subjects of knowledge as historical entities. This historicity entails the recognition of interrelationships between historical ontology and historical epistemology. On the other hand, we analyze the didactical implications that have been produced by constructivism and realism, and the need to reconsider, based on the previous discussion, the relevance of the teaching strategies that are supported from these perspectives.

Keywords: Gene, scientific objects, historicity, ontology, epistemology, constructivism, realism.

1 Profesor del Departamento de Biología, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá. Doctorando en Filosofía de la Ciencia, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. e-mail: alecasmor@yahoo.es, jcastro@pedagogica.edu.co

"(...) a nosotros no nos interesa la apariencia externa de las cosas. No nos interesa lo que vemos, sino lo que no vemos, esto es, la esencia invisible de las cosas"

André Lwoff, *El orden biológico*

INTRODUCCIÓN

Es innegable que en el mundo *existen* entes, cosas u objetos, dentro de los cuales nos encontramos nosotros mismos. Es también incuestionable que *existe* el mundo, que vivimos en él, que interactuamos con él, y que en él somos lo que somos. Es posible decir que hacemos parte del mundo en el que vivimos. Contradecir lo anterior sólo se podría hacer desde una perspectiva escéptica radical, la cual no creemos que sea sostenida por nadie en los albores del siglo XXI.

Sin embargo, habría que preguntarse ¿qué es un objeto?, ¿qué significa decir que algo existe? y ¿qué es el mundo? Lo anterior nos lleva a otras preguntas tales como ¿a qué denominamos realidad?, ¿es ésta dada o construida? Estos interrogantes están enmarcados en una discusión ontológica de la filosofía de la ciencia contemporánea, la cual ha enfrentado a escuelas realistas y constructivistas. En ese sentido, centraremos nuestras reflexiones en torno a qué significa decir, desde esas dos perspectivas antagónicas, que una entidad científica exista, así como en las estrategias para salvar esa dicotomía. Igualmente plantearemos, de manera muy esquemática, algunas implicaciones de este debate en la enseñanza de la ciencia.

En este orden de ideas, nuestra intención es abordar algunos de estos cuestionamientos a partir de ciertas discusiones con respecto a lo que en la biología se ha denominado como "el gen". No obstante, hay que aclarar que no entraremos en detalles acerca de dicha denominación, pues reconocemos que aún existen diferentes controversias al respecto. Tampoco haremos una reconstrucción histórica con respecto al tema en cuestión, sino que, más bien, presentaremos una *breve cronología* con el ánimo de ilustrar el campo de discusión que nos interesa. Por ello, nos detendremos un poco en la propuesta de 2 biólogos moleculares franceses, quienes a principios de la década de 1960 plantearon la necesidad de reconocer el gen más allá de su aspecto estructural, yendo hacia una interpretación más funcional. De ese ejemplo en particular elaboraremos la discusión en torno a la *realidad* de los objetos científicos.

1. La ciencia y sus objetos

Dado que el tema central de este escrito está enmarcado en una discusión ontológica en la ciencia, enfocaremos nuestro debate en el ámbito científico. Pero, antes de ello, vamos a presentar una clasificación de los objetos que existen en el mundo, sean éstos científicos o no. Dicha clasificación obedece a una estrategia para situar la discusión en el terreno que hemos delimitado, por lo que no se debe asumir como una agrupación exhaustiva y definitiva.

En el mundo podemos encontrar básicamente tres tipos de objetos, los cuales simplemente ejemplificaremos por medio de algunos de sus elementos más representativos:

1. Cuerpos celestes (como la luna, el sol, las estrellas, los planetas, etc.), cuerpos terrestres (como las montañas, los fósiles, buena parte de los organismos vivos, los ríos, los minerales, etc.).
2. Artefactos y, en general, cualquier objeto que ha sido construido por los seres humanos en el marco de una cultura (como casas, autos, computadores, organismos genéticamente modificados, animales y plantas domesticados, etc.).
3. Objetos conceptuales (como los números, los modelos, las representaciones, etc.).

Vemos, de este modo, que los objetos del primer grupo existen *independientemente* de nuestra existencia, mientras que los objetos de los otros grupos no existirían sin nosotros, es decir que su existencia *depende* del hecho de que los hemos construido. No obstante, la existencia de los objetos del segundo grupo es evidente, mientras que la existencia de los objetos del tercer grupo puede ser cuestionable, pues no podemos verlos, tocarlos o, en general, manipularlos².

Sin embargo, dichas afirmaciones no son tan evidentes como aparecen a primera vista. Veamos por qué.

No es difícil sostener que sin nosotros los objetos del primer grupo (al que denominaremos “objetos naturales”) hubiesen existido de todos modos. Desde esta perspectiva podríamos decir que la luna, por ejemplo, seguiría orbitando la Tierra del modo que lo hace, afectaría las mareas por acción de la gravedad, estaría hecha de los materiales que la conforman, contendría numerosos cráteres, y las fases que presenta seguirían su curso regular. No obstante, hay que reconocer que todo lo anterior son propiedades que le hemos atribuido a la luna, son discursos que sobre la ella ha elaborado la humanidad (principalmente desde una perspectiva científica). En ese sentido, debemos resaltar que *algunos de los objetos que denominamos científicos no pueden ser independientes de la conceptualización que hemos hecho de algunos entes materiales*.

Lo anterior, sin embargo, no debe llevarnos a abrazar un constructivismo radical, pues reconocemos que el mundo (al menos el mundo natural) podría haber existido sin nosotros. Es decir que no asumimos la postura que asegura que *la realidad es simplemente* una construcción de nuestra mente. Ampliaremos esta idea más adelante. Por ahora enfoquémonos en allegar elementos acerca de lo que entendemos por objeto científico.

Según Canguilhem (1978, p. 10), cuando se habla de una ciencia, por ejemplo de la cristalografía, la relación entre ésta y los cristales no es una relación de génesis, como cuando se habla del vínculo entre una gata y sus gatitos³. En ese sentido, dicha ciencia es un discurso que

2 Por lo menos en el sentido en el que manipulamos los artefactos.

3 La diferencia radica en que las crías de la gata no existirían sin ella, pero no a la inversa, mientras que la ciencia no existiría sin sus objetos ni éstos tendrían existencia sin la ciencia de la cual ellos son objetos.

se ha elaborado sobre la naturaleza de los cristales, que no es otra cosa que la consideración de su identidad (es decir, de ellos como una categoría que difiere de otras) y de las cualidades de estos minerales, independientemente del uso que les dé el ser humano. En el momento en que las diferentes ciencias “cristalográficas” han elaborado discursos sobre la naturaleza de los cristales, dichos discursos devienen en el contenido teórico de tales ciencias. De esta manera, para Canguilhem los *objetos naturales*, o sea los entes materiales *desnudos* de cualquier significado científico, serían *dados* o *primeros*⁴ o, en palabras de Mahner y Bunge (2000, p. 21), las cosas (como son denominadas por ellos) serían las entidades sustanciales desprovistas de toda particularidad, es decir, carentes de propiedades.

Siguiendo con los planteamientos de Canguilhem, cuando la ciencia elabora conceptos acerca de la naturaleza de los cristales, dicho discurso se instituye como objeto segundo, el cual es *cultural*⁵. En ese sentido, es la ciencia la que constituye su objeto a partir del momento en que ella inventa un método para formar una teoría, por lo que “*el punto esencial es que la teoría y la cristalización acaban por encontrarse y por estar de acuerdo la una con la otra*”⁶ (Haüy, citado por Canguilhem, 1978, p. 11).

Esta idea de Canguilhem, de objetos naturales versus objetos culturales, es muy cercana a lo que han planteado Daston y Galison (2007, p. 19), quienes afirman que todas las ciencias deben tratar con el problema de seleccionar y constituir *objetos activos* (“working objects”), en contraste con los abundantes y variados *objetos naturales* (“natural objects”). Para Daston y Galison, los objetos de la ciencia pueden ser, por ejemplo, imágenes de los atlas, especímenes “tipo”, o procesos de laboratorio. Ninguna ciencia, según ellos, puede llevar a cabo su trabajo sin tales objetos activos y estandarizados. El punto que es interesante resaltar aquí, es que el proceso mediante el cual un objeto natural deviene en científico es fundamentalmente de carácter histórico. Por supuesto que esta historicidad tiene que ver principalmente con la transformación que han tenido las diversas maneras en que los científicos interactúan con el mundo, a través de

4 Debemos aclarar que esta discusión sobre los objetos naturales y los objetos científicos aplica, fundamentalmente, para el primer grupo de entidades que describimos en nuestra clasificación, ya que los objetos conceptuales, como los números, no necesariamente tienen una correspondencia material con el mundo experiencial. No obstante, surge la pregunta acerca de *¿qué ocurre con el objeto gen?* Esperamos que a lo largo del documento quede clara nuestra posición al respecto.

5 Cabe señalar que Canguilhem va más lejos, afirmando que el objeto de la historia de las ciencias sería el discurso que sobre los discursos científicos se han elaborado. Por ello, para este autor, dicho objeto *tercero* sería también cultural, pero no sería un objeto científico, dado que la historia de las ciencias no es una ciencia (al menos no en el sentido en el que lo es la ciencia que deviene en su objeto). No es importante, para nuestra discusión, entrar en estos detalles, por lo que queda a discreción del lector interesado consultar las fuentes que citamos.

6 Encontramos una interesante coincidencia entre esta afirmación y las palabras de Hertz (citado por Ibarra y Mormann, 2000, p. 13) acerca de que cuando nos hacemos imágenes de la naturaleza o símbolos de los objetos externos “*los hacemos de tal manera que las consecuencias intelectualmente necesarias de las representaciones son siempre a su vez representaciones de las consecuencias naturalmente necesarias de los objetos derivados. Para que esta condición sea completamente satisfactoria deben existir ciertas concordancias entre la naturaleza y nuestra mente*”.

sus prácticas, para establecer un dominio de investigación, es decir, para delimitar un objeto de conocimiento, lo cual es coherente con lo que ha expresado Canguilhem: “El objeto del discurso histórico [de las ciencias] es en efecto la historicidad del discurso científico” (citado por López Beltrán, 2005, p. 318).

En lo que sigue vamos a esbozar sintéticamente qué significa hablar de la historicidad del gen o, en otras palabras, cómo éste se ha constituido históricamente en objeto de conocimiento científico.

2. El gen como objeto científico históricamente constituido

Como lo anunciamos en la introducción, no es nuestro interés hacer una discusión a profundidad sobre lo que significa el término gen en la biología contemporánea. Más bien, lo que nos interesa es retomar algunos aspectos de cómo éste se ha transformado históricamente, y detenernos brevemente en el ejemplo de lo que se denominó como el *Modelo del Operón Lac*, con el fin de abordar la discusión acerca de si los objetos científicos son dados o construidos.

No asumimos que el avance de la ciencia se haga de una manera lineal ni absolutamente acumulativa⁷. Sin embargo, para efectos de nuestra discusión, haremos un breve recuento *cronológico*⁸ acerca de cómo se postuló la existencia del *gen*, y de la forma en que éste se ha transformado. Se podría considerar que el gen tiene sus orígenes en los *factores dominantes y recesivos* que propuso Mendel en 1866, para poder explicar el patrón hereditario mediante el cual eran transmitidas algunas características de padres a hijos⁹. Es preciso recordar que el artículo de Mendel pasó inadvertido para la comunidad científica de su época, y que éste cobró valor para dirimir la disputa acerca de la paternidad de las “leyes”¹⁰ de la herencia que

7 En diversos trabajos hemos hecho explícita y hemos ejemplificado la forma en que entendemos la historia de las ciencias. A este respecto véase, por ejemplo, Castro (2006, 2008 y 2009).

8 Para una discusión a fondo sobre la historia de la herencia, puede consultarse el trabajo de Jacob (1999). Buena parte de lo que decimos enseguida está basado en dicho texto. No obstante, de acuerdo con lo que expresamos en la siguiente nota, para nuestros propósitos remitimos al lector a los capítulos titulados “El gen” y “La molécula”.

9 Conviene hacer una distinción entre la historia del concepto gen (o de la genética) y la historia del concepto herencia. Esta distinción es hecha de un modo muy sugestivo por López Beltrán (2005), en donde, a grandes rasgos, nos explica que la genética es la *mendelización* de la herencia, y que sobre este tópico ya existían importantes desarrollos (anteriores a, o contemporáneos de, Mendel) que fueron desconocidos e incluso despreciados por los “redescubridores” de los principios mendelianos a inicios del siglo pasado, o por los historiadores de la ciencia que han equiparado herencia con genética. En este escrito nos centramos, como ya lo hemos dicho, en algunos aspectos de la historicidad del gen, no de la herencia, por ello empezamos nuestra cronología con Mendel.

10 No entraremos en la discusión acerca de qué tan adecuado es denominar a los postulados de Mendel como leyes, dado que sobre ello hay un debate de fondo en la filosofía de la biología, lo que nos desviaría del tema central que estamos tratando. Sin embargo, podemos decir que si las leyes se entienden como enunciados absolutos, necesarios y universales, las “leyes” de Mendel no serían leyes, entre otras cosas por la gran cantidad de excepciones que presentan. Por otro lado, y hasta donde hemos indagado, debemos decir que Mendel no usó la nominación de leyes para referirse a sus conclusiones.

“redescubrirían”, en el primer año del siglo XX de Vries en Holanda, Correns en Alemania, y Tschermack en Austria. En síntesis, estos tres investigadores llegaron independientemente a conclusiones similares a las que llegó Mendel y, en aras de determinar quién los había antecedido, se encontraron con el artículo que el monje agustino escribió en una revista científica de la ciudad de Brno¹¹.

Quien acuñó el término *gen* fue el científico danés Johannsen, en 1909, para reemplazar la nominación de factor mendeliano¹² y como abreviación del vocablo pangen, ideado por de Vries. Igualmente, Johannsen propuso los términos genotipo (para referirse al grupo de genes que posee una población) y fenotipo (para describir, estadísticamente, la aparición de caracteres en una población). Sin embargo, el término *genética* fue una invención del inglés Bateson, quien lo propuso en 1905, mientras que en un escrito de 1902, en el que traducía y defendía el artículo original de Mendel, propuso el nombre *alelomorfo* (abreviado como alelo) para referirse a “los caracteres alternativos en pares que se segregan” (Bowler, 2001, p. 387), nominación que hoy entendemos como cada una de las formas alternativas que puede tener un gen¹³. No obstante, toda esta terminología aún no especificaba qué tipo de soporte físico permitía que los genes fueran heredados de determinadas maneras, coadyuvando así a la expresión de un fenotipo particular. A pesar de que en la segunda mitad del siglo XIX ya se había aislado el ácido desoxirribonucleico (ADN¹⁴) y se habían determinado algunas de sus propiedades, éste todavía no se relacionaba con la herencia, lo cual se hizo ya bien entrado el siglo XX.

11 En la época de Mendel esta ciudad hacía parte del Imperio Austrohúngaro, pero en la actualidad pertenece a la República Checa.

12 Sin embargo, los factores de Mendel serían mejor reemplazados por la noción de alelo, no por la de gen. Véase la siguiente nota y el texto “Dominancia y recesividad” en Vallejo (1998).

13 Muchas veces confundimos el término gen con el de alelo, y en ocasiones utilizamos mal el primero. Esto se debe a la idea errónea de que *siempre* un solo gen determina una característica, lo cual se ha demostrado que rara vez ocurre. Es decir que el fenómeno mediante el cual la información genética se corporeiza en estructuras como órganos, tejidos, células, moléculas, etc., es más complejo de lo que se pensaba. Además, hay que tener en cuenta que, a veces, muchos genes determinan una característica (o que un gen puede codificar información para varios caracteres) y que el fenotipo no depende exclusivamente del genotipo, sino que está altamente influido por el ambiente. Sin embargo, simplificando un poco, supongamos que el color (del iris) de los ojos en los humanos está determinado por un solo gen. Así, es evidente que dicho gen tendría diferentes variables tales como los colores negro, verde, azul, castaño, etc. (sin tener en cuenta las diferentes tonalidades de esos colores). Por ello, diremos que el gen para el color de los ojos tendría diferentes alelos que codificarían colores como negro, verde, etc. En este sentido sería erróneo hablar de genes dominantes y recesivos, sino que deberíamos referirnos a alelos dominantes o recesivos de determinado gen (Vallejo, 1998, p. 240-241). De este modo, también podemos afirmar que el gen entra en un terreno más conceptual, mientras que el alelo haría parte de un ámbito más experiencial, si se quiere material.

14 En muchos textos de genética, o áreas afines, escritos en (o traducidos al) español se suele usar la sigla DNA (del inglés *Deoxyribonucleic acid*), lo cual nos parece incorrecto, ya que desde esa lógica no hablaríamos, en español, de SIDA (síndrome de inmunodeficiencia adquirida) sino de AIDS (del inglés *acquired immunodeficiency syndrome*).

El primer soporte físico de los genes se dio hacia 1915, fundamentalmente a partir de los trabajos que con la mosca *Drosophila melanogaster* hicieron Morgan y su escuela. Uno de los resultados más importantes de sus investigaciones fue la teoría cromosómica de la herencia, la cual estableció que los genes (alelos) se encuentran en los cromosomas, confirmando así las observaciones que años atrás habían hecho, independientemente, Sutton y Boveri acerca de que hay un paralelismo entre la herencia de los factores hereditarios (alelos) y la manera en que se comportan los cromosomas en los procesos de multiplicación celular (específicamente en la meiosis) y de fecundación. En síntesis, dicha teoría afirma que los diferentes alelos de un gen están contenidos en los cromosomas, y que están ubicados en espacios físicos específicos y en un orden determinado¹⁵.

Posteriormente, en los años 1940, se llegó a concluir que los genes están “hechos” de ADN o, mejor, que un gen es una fracción de ADN con la capacidad de codificar una proteína (ya sea ésta estructural o funcional). Otra importante conclusión se dio en 1953, cuando Watson y Crick postularon el modelo que daba cuenta de que el ADN era una doble hélice, explicando de esta manera aspectos fundamentales de los genes, tales como la capacidad de autoduplicarse, de contener información química codificada y de pasar (casi inalterables) de una generación a otra. Sin embargo, hay que anotar que con el modelo de la doble hélice se fortaleció la idea de que el gen era fundamentalmente un segmento de ADN con la capacidad de traducirse en una proteína. A esta idea se le conoció como *un gen-una proteína*.

Hasta aquí, quizá hemos saturado al lector con una serie de datos “históricos” que han hecho énfasis en cambios lingüísticos. No obstante, dada la complejidad de entrar en los detalles acerca de qué prácticas se idearon y se pusieron a prueba para llevar a cabo dichas transformaciones terminológicas y conceptuales, y teniendo en cuenta los intereses de este escrito, sería imposible ahondar en esos aspectos. Ahora nos detendremos un momento en el ejemplo de cómo se propuso el Modelo del Operón Lac, a principios de la década de 1960, por los biólogos moleculares franceses Jacob y Monod, en el Instituto Pasteur de París. No profundizaremos con respecto a este modelo científico, ya que ello desbordaría los objetivos de este trabajo¹⁶. En primer lugar, debemos decir que mediante dicha representación se explica la manera en que se regula la expresión de la información genética para el metabolismo de la lactosa en la bacteria *Escherichia coli*.

15 Retomando lo que expresamos en la nota previa, hay que precisar que desde el lenguaje actual, diríamos que cada gen ocupa un espacio específico en un cromosoma particular, espacio que es denominado como locus, pero “realmente” un locus particular contendría un alelo específico de un gen. La idea general es que independientemente de qué variedad de un gen (sus distintos alelos) esté en un locus, siempre habrá un alelo de ese gen (y no de otro) en ese locus. Esquemáticamente, el gen A siempre estará en el locus α del cromosoma ψ , aunque al determinar el genotipo del organismo podremos encontrar que en dicho locus se encuentra la variante (alelo) A_1 del gen en uno de los miembros de la pareja homóloga del cromosoma ψ y en el otro se hallaría la variante A_2 . El asunto se complejiza si además decimos que A_1 es dominante (o codominante, o recesivo, etc.) con respecto al alelo A_2 , lo cual contribuirá a determinar el fenotipo del organismo en cuestión. En síntesis, en el locus α del cromosoma ψ siempre se hallará un alelo del gen A , pero no un alelo de otro gen.

16 Para entrar en esos detalles, véase Jacob and Monod (1961) y Castro (2006).

A modo de síntesis, este modelo explica de una manera alternativa (y opuesta) lo que desde la década de 1940 se denominaba como el fenómeno de la *adaptación enzimática*. Desde ese entonces, varios científicos se habían dado cuenta de que si se le agregaba lactosa a un cultivo de *E. coli*, este hecho inducía a las bacterias a activar las *pre-enzimas* que darían origen a las enzimas específicas para metabolizar dicho disacárido (especialmente la enzima β -galactosidasa), pero en ausencia de lactosa, esas supuestas pre-enzimas no eran activadas. Jacob y Monod se opusieron a esta idea de adaptación, ya que ello implicaba que el medio *instruía* a los organismos acerca de qué parte de su genoma debía ponerse en funcionamiento. En otras palabras, esa explicación implicaba que el medio externo regula al medio interno, desconociendo en éste la existencia de “mecanismos” autorreguladores.

Por el contrario, como buenos darwinistas, Jacob y Monod propusieron una explicación totalmente diferente, en la cual existen *genes reguladores*, algunos de los cuales codifican la información para sintetizar una proteína alostérica¹⁷ que funciona como represor, y que al unirse a determinada región del ADN bacteriano (sitio denominado como operador) impide que se exprese la información de ciertos genes (estructurales), denominados como A, Y y Z, los cuales codifican las enzimas para el metabolismo de la lactosa. Sin embargo, si entra al medio celular alguna sustancia que inhiba al represor, entonces la síntesis se lleva a cabo. En particular, en el operón lac, existe un gen (denominado I) que reprime dicha codificación (por medio del represor, que es una proteína alostérica), pero en presencia de lactosa (la cual inhibe al represor, actuando como inductora) dichas enzimas se producen y, por ende, se lleva a cabo el metabolismo de este disacárido (ver figura 1).

17 Una enzima alostérica es aquella que posee dos sitios especiales de actividad fisicoquímica. Uno de ellos, y que comparte con todos los demás tipos de enzimas, es el sitio activo, mediante el cual entra en contacto con el sustrato que contribuye a catalizar. El otro sitio es en el que se lleva a cabo la unión reversible y no covalente con un regulador. Cabe señalar que sin la presencia del regulador, la proteína no lleva a cabo la actividad enzimática, aunque haya una gran concentración de sustrato en el medio. No obstante, en el caso que estamos exponiendo, la proteína alostérica (represor) no cumple una función enzimática, ya que mediante su sitio activo se une física, pero no químicamente, a una región del ADN bacteriano, impidiendo así que se dé inicio a la transcripción del ARN mensajero de las enzimas para el metabolismo de la lactosa, puesto que imposibilita que la enzima ARN polimerasa específica se una al ADN (concretamente en el promotor). Mediante el otro sitio (alostérico) esta proteína se une, también reversiblemente, con la lactosa. Así, en presencia de lactosa, la proteína alostérica cambia su configuración y se desune del ADN, permitiendo de este modo la transcripción del ARN mensajero. Por ello, la lactosa se convierte en el regulador (en este caso inductor) de su propio metabolismo. Véanse más detalles en el texto y en la figura 1.

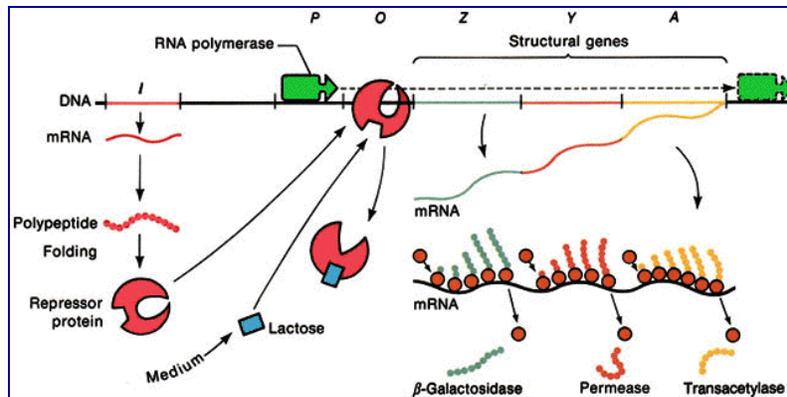


Figura 1. Representación esquemática del Modelo del Operón Lac. *I* (gen que codifica para la proteína represora que hace las veces de represor), *P* (gen promotor), *O* (gen operador), *Z*, *Y* y *A* (genes estructurales que codifican para las enzimas del metabolismo de la lactosa) (tomada de <http://www.icb.ufmg.br/prodabi/grupo7/iniciar/aulaexp/LAC1.GIF>)

Un aspecto que es importante resaltar del trabajo de Jacob y Monod es el hecho de formular la existencia de genes reguladores, los que tienen una función en relación con permitir o no la síntesis de otros genes (éstos de índole estructural), mientras que antes de dicha investigación sólo se asumía la existencia de genes estructurales (entendidos como una secuencia de ADN capaz de codificar una proteína). Hay otros elementos del trabajo de Jacob y Monod (1961) que devinieron en grandes novedades y en rupturas con respecto a lo que hasta entonces se creía, aspectos que aquí sólo mencionaremos.

Por ejemplo, estos investigadores postularon la existencia de un *mensajero* que haría las veces de intermediario entre la información codificada en el ADN y su traducción en proteínas. Vale la pena señalar que supusieron que, dado un conjunto de evidencias, se trataba de una molécula de ARN. Pocos años después se demostró experimentalmente, en Harvard, que efectivamente era como ellos lo habían predicho. Otro aspecto en el que Jacob y Monod tuvieron razón, y que sí demostraron ellos mismos, fue el hecho de que la síntesis de proteínas se lleva a cabo en los ribosomas, y que éstos no son específicos para cada tipo de proteína, como se pensaba antes. Finalmente, los investigadores franceses tenían dudas acerca de si el represor también era una molécula de ARN, como el mensajero. Fue gracias a los trabajos liderados por Monod que se llegó a comprender la naturaleza proteica y alostérica de dicha molécula.

En esta sección hemos mostrado la manera en que se ha complejizado el concepto de gen. Sin embargo, queremos repetir que, a pesar de que no lo hayamos explicitado, esta complejización se ha hecho a partir de cómo han cambiado las formas mediante las que los científicos interactúan, a través de diversas prácticas científicas, con ese objeto de estudio denominado “el gen”. Por ejemplo, una historia más interesante sería dar cuenta de las diferentes prácticas que llevó a cabo Mendel (como la hibridación de plantas, la planeación de los cruces apropiados, el tratamiento matemático de sus resultados y conclusiones, etc.), y las que Jacob y Monod pusieron en marcha (la invención de técnicas de laboratorio, la “construcción” de bacterias diploides para determinadas características, así como la elaboración y contrastación de modelos

explicativos, etc.). Pero, infortunadamente, esa historia desbordaría los objetivos de este artículo.

Queremos precisar, además, que el *concepto gen* y la *entidad gen* han llegado a ser indisociables, pues no nos podemos referir a uno sin aludir al otro. Volveremos sobre este punto. Por ahora vamos a mencionar un aspecto que es relevante pero que no desarrollaremos a profundidad. La historicidad del gen ha transitado desde los objetos netamente teóricos e inobservables (como los factores mendelianos), hasta objetos dotados de materialidad (están hechos fundamentalmente de ADN), que podemos ubicar en sitios específicos (cromosomas, locus, plásmidos, etc.), y que podemos asilar y manipular. Como dice Jacob (1988, p. 238), los biólogos tienden a remplazar los fantasmas, los objetos producto del razonamiento, por representaciones visuales (como el modelo del operón lac). Pero, como Jacob reconoce, esos modelos deben ser puestos a prueba con la experiencia, no son productos exclusivos del raciocinio, son hijos legítimos de la interacción de las prácticas científicas con el mundo.

Debemos añadir que, como lo afirma Lwoff en la frase que usamos de epígrafe, la tendencia que evidenciamos en este ejemplo es un viaje desde lo que vemos (el fenotipo) hacia lo que no vemos (el genotipo), es decir de *la apariencia a la esencia invisible de las cosas*. En otras palabras, la historicidad del gen nos muestra un itinerario interesante desde lo macro a lo micro, por lo que no es de extrañar que *en este caso*¹⁸ los científicos hayan usado una estrategia *reduccionista*. ¡Pero cuidado!, debemos señalar que esta palabra ha sido satanizada por buena parte de los filósofos de la ciencia (y por otros académicos). No usamos el término como comúnmente se ha entendido: que sólo podemos explicar un sistema si conocemos las propiedades de sus elementos constituyentes básicos.

Así, es importante traer a colación la distinción que Dawkins (1988) establece entre *reduccionismo jerárquico* e, irónicamente hablando, *reduccionismo traga-niños*. El primero es una estrategia explicativa que parte de un sistema hacia los subsistemas que lo conforman, pero una vez que se llega a determinado punto, no vale la pena seguir descendiendo de nivel. Un aspecto importante de esta perspectiva es el establecimiento de relaciones entre niveles, lo que nos permite explicar el sistema en cuestión. En el caso del modelo del operón lac, para entender la regulación génica del metabolismo de la lactosa, no tendría sentido reducir los genes a ADN, éste a moléculas menos complejas, las que reduciríamos a átomos y partículas subatómicas hasta llegar a las partículas fundamentales. Por su parte, el reduccionismo traga-niños no se detendría sino hasta el último nivel señalado, ya que sólo así tendríamos una explicación completa del sistema. Por supuesto, nos advierte Dawkins, este tipo de reduccionismo es un imaginario, un “coco” que se usa para asustarnos y para persuadirnos de sacar de la explicación científica cualquier cosa que suene a reduccionismo.

Pero el ejemplo de los genes (y otras entidades) del modelo del operón lac, nos muestra que al ser reduccionistas no pretendemos llegar a los elementos fundamentales del universo, sino a un

18 Tal vez otras historias, como las del ecosistema, por ejemplo, nos muestren una perspectiva diferente.

sistema que se caracteriza por la complejidad. *¿No es complejo el sistema que Jacob y Monod pusieron en evidencia?* Así, vemos que en este contexto reducir no es simplificar, sino complejizar. El objeto de la biología es un sistema de sistemas, cada uno con diferentes niveles de complejidad (pasando por un ecosistema o por el modelo del operón lac), que en otro lugar denominamos como la *bioorganización sistémica* (Castro, Valbuena y Sierra, 2009).

Otro punto que queremos resaltar es que no negamos que haya mucha más historia que contar sobre el tema que hemos abordado. Por supuesto que sabemos más sobre el gen de lo que sabíamos en la década de 1960. Detenernos en el ejemplo del *modelo del operón lac* no implica que lo consideremos como el mejor ejemplo, sino como el que mejor comprendemos y del que podemos extraer las discusiones que hemos planteado. Claro que hemos dejado de lado aspectos concernientes a los genes que no se hallan en cromosomas (la información genética de los cloroplastos y mitocondrias, por ejemplo); no nos referimos a otros aspectos del gen como entidad dinámica, específicamente en lo que atañe a las mutaciones y los genes “saltarines”; no discutimos acerca de las regiones del ADN que no codifican; no dijimos nada sobre otros procesos de regulación genética en microorganismos (otros operones, por ejemplo), ni sobre los procesos de regulación totalmente diferentes que se llevan a cabo en organismos eucarióticos, en donde juegan un papel relevante las histonas. Este último ejemplo nos sirve para recordar que una vez que se propuso el modelo del operón lac, Monod confiaba en que sería aplicable a todos los organismos “desde la bacteria al elefante”, mientras que Jacob era más cauto a este respecto. Como sabemos, este último tuvo razón, y no se puede optar por esa perspectiva *reduccionista* que sí criticamos¹⁹. Ya se ha dicho muchas veces, el mundo de la biología es el mundo de la complejidad.

Y el gen, como entidad biológica, no escapa a la complejización. En ese sentido, tampoco abordamos discusiones acerca de qué significa “el gen” en disciplinas tan diversas como la genética clásica, la genética de poblaciones, la genética molecular, la biología del desarrollo y la ingeniería genética (por citar algunas): *¿se trata de la misma entidad?, ¿podemos hablar de una definición ‘unificadora’ de gen?* Responder estas preguntas demandaría la construcción y contrastación de diversas historias *ontológicas* y *epistemológicas* del gen, por lo que no creemos que sea factible (al menos en un corto plazo y por pocos investigadores) escribir *una única* historia del gen. Por ello, debemos dejar esa empresa para otro momento y para otras sapiencias, ya que este escrito versa sobre los debates en torno a si los objetos científicos son *construidos* o *reales*, por lo que hemos usado, como ejemplo, algunas discusiones sobre el gen.

De este modo, y volviendo a nuestra discusión central, nos encontramos en una situación compleja, ya que al hacer este recorrido por la forma en que se ha transformado la noción de

19 Un ejemplo de este tipo de reduccionismo en la biología, ¡que sí consideramos perjudicial!, es el establecimiento, por parte de Crick, del “Dogma central de la biología molecular”. Hablar de dogmas es natural en las religiones, pero *¿en la ciencia?* Recuérdese que un dogma es una verdad establecida de una vez y para siempre, verdad que es inmune a todo tipo de preguntas o cuestionamientos. Para creer en un dogma se debe acudir a la fe, y la fe no es una buena guía para hacer investigaciones científicas. Afortunadamente ese dogma tuvo una vida muy corta, gracias a la existencia de la enzima transcriptasa inversa.

gen, aún no es claro si al referirnos a él estamos aludiendo a un objeto natural cuya existencia es independiente de la nuestra²⁰, a un artefacto²¹, o a un objeto conceptual²². En otras palabras, aún no estamos en condición de distinguir entre el gen como una realidad preexistente que hemos ido *descubriendo* poco a poco, o un modelo que hemos *construido* paulatinamente y que ha devenido en una nueva realidad hecha a la medida de nuestra mente. Esta discusión será el tema de la siguiente sección.

3. Implicaciones de la existencia del gen para el debate Realismo-Constructivismo

Puntualicemos un poco acerca de las dos perspectivas que pretendemos superar, dejando de lado la dicotomía entre real y construido. *El realismo extremo* es el proyecto que asume que existe una única realidad, la cual es externa e independiente de los sujetos cognoscentes, quienes la descubren paso a paso. Así, el conocimiento es un reflejo de esa realidad, por lo que *la verdad* se entiende como una correspondencia punto por punto entre el mundo y nuestra mente. Por su parte, el *constructivismo radical*²³ nos plantea que la realidad no es otra cosa que un producto de nuestras representaciones mentales, por lo que habría tantas verdades como individuos o, en el mejor de los casos, comunidades. Es evidente que este tipo de constructivismo es solidario con un *relativismo desafortado*, para el que todas esas verdades serían igualmente válidas. Desde esta óptica, nos preguntamos con Hacking (2001, p. 24) “¿No implica el relativismo que cualquier tipo de fundamentalismo religioso es tan bueno como cualquier tipo de ciencia?”.

Quizá estas perspectivas tengan el mismo estatus que el reduccionismo traga-niños de Dawkins, en el sentido de que no cuenten con seguidores reales. No obstante, el realismo extremo y el constructivismo radical (al igual que el relativismo desafortado) han tenido, como veremos, implicaciones en proyectos didácticos que tal vez sean más difíciles de dilucidar en el caso del reduccionismo traga-niños. Volviendo a nuestro ejemplo, sostenemos que el gen es *un*

20 Obvio, si aludimos a los genes de las demás especies, no a los nuestros.

21 A pesar de que no nos referimos a este hecho, es de recordar que los biólogos moleculares y los ingenieros genéticos pueden manipular casi cualquier gen de prácticamente todo organismo, por lo que no es absurdo pensar en algunos genes como artefactos. Tampoco es descabellado pensar en la construcción de genes. Véase Olivé (2003) para una discusión acerca de la pertinencia de asumir a los objetos biotecnológicos como artefactos y las implicaciones bioéticas de esta situación.

22 Principalmente porque hemos visto que para hablar del gen se ha utilizado ampliamente la estrategia de construir modelos que den cuenta de él.

23 Debemos señalar que la noción de constructivismo radical ha sido utilizada por von Glasersfeld para dar cuenta de su proyecto. Si bien hay diferencias entre la nominación de este autor y la que aquí utilizamos, hay algunas coincidencias sustanciales. Más adelante nos referiremos, someramente, a la propuesta de von Glasersfeld, cuando nos remitamos al trabajo de Matthews (2005), quien ha criticado duramente su propuesta constructivista. Por otra parte, lo que aquí denominamos constructivismo radical puede considerarse como sinónimo de lo que Hacking (2001, p. 53) llama *construccionismo social universal*, el que asume que todo, no sólo las ideas sino los objetos en sí mismos son construcciones sociales. A su vez, continúa Hacking, esa doctrina es descendiente del idealismo lingüístico, es decir, “*la doctrina de que sólo existe aquello de lo que se habla; nada tiene realidad hasta que se habla o se escribe sobre él*”.

híbrido entre determinado tipo de entidad que existe de forma natural, y las representaciones que nos hacemos a partir de las maneras en que interactuamos con dicha entidad. En ese sentido, la realidad del gen trascendería la imagen desastrosa que critica Putnam²⁴ (1994, pp. 46-47), imagen que ha pretendido colocar de un lado las “supuestas” cualidades primarias del mundo físico y, de otro, la mente y las percepciones sensoriales. Hay que precisar que Putnam quiere mostrar que no es oportuno separar el “realismo del hombre común” del “realismo científico”²⁵, el cual (supuestamente) nos dice cómo son las cosas en realidad o, más precisamente, qué es lo que en verdad existe.

Sin embargo, debemos tener en cuenta que el gen no es el tipo de objeto que haga parte de la realidad de la vida cotidiana, ya que éste ha tenido sentido, fundamentalmente, en el ámbito de la biología, como hemos visto. Pero también es innegable que el gen ha trascendido el terreno netamente científico y ha tenido connotaciones para el diario vivir de los ciudadanos²⁶. Así como no es tan fácil trazar una línea que nos diga cuándo nos estamos refiriendo al *objeto en sí* y cuándo a las percepciones (en este caso conceptualizaciones) que de él tenemos, es igualmente difícil hacer una demarcación nítida entre el ámbito de la realidad científica y el contexto de la realidad de sentido común²⁷.

En este orden de ideas, estamos totalmente de acuerdo con Putnam cuando defiende el hecho de que no es oportuno hacer la distinción entre propiedades primarias o intrínsecas (del objeto en sí) y propiedades secundarias, extrínsecas o potencias²⁸. A nuestro modo de ver nunca (o casi

24 Al situar nuestra discusión entre *un* tipo de realismo y *un* tipo de constructivismo no damos por hecho que no hayan otras perspectivas que se denominen de una u otra forma. Por ejemplo, la propuesta de Putnam, que expondremos muy sintéticamente, es denominada por él como “realismo interno”, pero es un realismo que reconoce y enfatiza el papel del sujeto cognoscente, por lo que es una perspectiva realista que rechaza, de tajo, el realismo extremo.

25 Que Putnam identifica con lo que aquí denominamos “realismo extremo”.

26 Piénsese, por ejemplo, en los análisis genéticos que implican dictaminar las causas de enfermedades hereditarias, o los que ayudan a determinar la paternidad o grado de consanguinidad entre diferentes personas, lo cual tiene implicaciones jurídicas, éticas, psicológicas, económicas, etc.

27 No obstante, *esta demarcación existe*, y parte de las finalidades de la enseñanza de la ciencia es trazar esos límites y permitir que el estudiante sea consciente de ello. Por ejemplo, buena parte del saber científico se ha hecho a contracorriente del sentido común. Nuestros sentidos nos muestran que el sol se mueve en torno a nosotros, pero la ciencia nos dice lo contrario. Desde nuestro sentido común, es evidente que los objetos “pesados” se hunden en el agua y los “livianos” flotan en ella, pero la ciencia nos enseña otra cosa. Por supuesto que tampoco se trata de imponer, por la fuerza, verdades como si fueran dogmas, pero sí de mostrar que el mundo es mucho más que sus apariencias (como dice Lwoff en nuestro epígrafe).

28 No vemos contradicción alguna entre esta afirmación y la frase de Lwoff con la que iniciamos este escrito. Putnam llama nuestra atención acerca de que no es posible que lleguemos a conocer *realmente* cómo es un objeto, ya que para conocerlo interactuamos con él, lo que implica que éste se modifique (y nosotros también) en ese proceso de intervención. De otro lado, y aunque Lwoff utiliza la palabra “esencia”, él se refiere a escudriñar más allá de las apariencias de las cosas, pero no vemos en esta perspectiva una intención de llegar a los principios últimos de los que se compone el universo, es decir a las esencias entendidas literalmente.

nunca) podríamos acceder a las primeras, ya que todo discurso que elaboramos sobre un objeto es precisamente a través de la forma en que éste se comporta cuando interactuamos con él, ya sea directamente o por medio de aparatos de detección, medición, observación, etc. En ese sentido coincidimos con Olivé cuando dice que "(...) *las representaciones, los objetos y los sujetos son partes y participantes de un único sistema. Si queremos hablar de lo que «realmente existe», lo que realmente existe es ese sistema*" (2007, p. 199).

Así, es evidente que no se puede sostener ninguna de las posiciones radicales acerca de la realidad. Por un lado, no son oportunas las ideas provenientes del realismo extremo acerca de que el mundo existe independientemente de nosotros, que hay una única realidad que debemos descubrir, y que el conocimiento es una imagen especular de ésta. Hemos visto que aunque no se puede negar que algunos "objetos" existirían sin nosotros, ello no implica que serían los mismos objetos, ya que los discursos que sobre ellos se han elaborado no existirían. La humanidad conoce hace muchísimos años la existencia de los fósiles, pero hasta hace poco estos objetos naturales tienen el significado de ser los restos petrificados de organismos que vivieron en otras épocas. El descubrir los fósiles (en el sentido literal de desenterrar) no implica que se haya descubierto (en el sentido metafórico) su significado, ya que éste es una elaboración de una comunidad epistémica particular, significado que no ha sido estático ni único, como vimos en el ejemplo del gen.

De otro lado, tampoco es sostenible una visión constructivista radical, ya que la construcción del concepto fósil depende, en gran medida, de que exista una realidad material independiente de la nuestra, sobre la cual se elaboran significados compartidos, es decir objetivos, dentro de una comunidad epistémica. Así las cosas, es defendible la idea de que el mundo nos brinda el soporte material sobre el cual construimos nuestro conocimiento, lo cual implica que aquél nos ofrece posibilidades y nos impone restricciones que evitan que cualquier cosa se pueda decir y asumir como objetiva o verdadera. Pero dichas restricciones/posibilidades no sólo están en el mundo "externo", también se hallan en nosotros, y son de diferentes índoles como físicas, culturales y biológicas. Como lo afirma Morin (2000, p. 73) "*Las condiciones del conocimiento humano son extraordinariamente diversas, porque son físicas, celulares, cerebrales, psíquicas, sociales, culturales*".

En suma, el mundo es como es no solamente por cómo está estructurado y construido, sino también debido a los medios que tenemos para interactuar con él. Desde esta perspectiva, podemos compartir "el mismo" espacio con una avispa, por ejemplo, pero ésta verá colores ultravioleta que nosotros no podemos ver (al menos sin ayuda de instrumentos), así como ella no tendrá acceso a determinados aspectos del entorno a los que nosotros sí. Igualmente, un perro que esté a nuestro lado escuchará sonidos inaudibles para nuestros oídos, o percibirá olores que no podemos percibir. Como dice Jacob: "*Nos encontramos estrechamente encerrados en la representación del mundo que nos ha impuesto nuestro equipamiento nervioso y sensorial, de modo que no podemos contemplar este mundo de otra manera. No tenemos ciertamente los medios, por ejemplo, de concebir y ni siquiera imaginar el mundo en el que vive una mosca, o una lombriz, o una gaviota*" (1998, p. 176). Por ello, estrictamente hablando, no tendría sentido decir que el mar es azul, sino que lo

vemos azul, que para nosotros es de ese color, lo cual depende de cómo es *en realidad* el mar y de cómo lo percibimos.

Pero el asunto no es meramente perceptual, sino también representacional. En este orden de ideas, no defendemos un determinismo biológico que diga que, dado que todos los seres humanos tenemos el mismo equipamiento neurológico-perceptual, debemos “ver” el mundo de la misma manera. Recordemos que los humanos somos también seres culturales, y ello implica que no tengamos acceso a la realidad de la misma forma que todos nuestros congéneres. Nos estamos refiriendo, entonces, a los aspectos culturales que hacen que consideremos como objeto de conocimiento a determinadas entidades, que les asignemos significados, y que con ellos comprendamos y expliquemos cómo es el mundo.

De esta manera, y retornando a la discusión sobre el gen, hemos visto que la clasificación de los objetos que propusimos al inicio de este artículo se *desvanece*, puesto que asumimos que todos los objetos científicos son *a la vez* contruidos y reales, o mejor, que éstos son emergencias de la interacción entre nosotros y el mundo. Así, es necesario precisar que esa dicotomía (real-contruido) queda superada si reconocemos que *todos* los objetos científicos son *entidades históricas*, y que si prescindimos de nuestros tres grupos de objetos lo hacemos no en aras de defender un monismo metafísico, sino porque tenemos en mente un *pluralismo ontológico*. Pasemos, entonces, a desarrollar esas ideas.

4. Sobre la necesidad de una Ontología Histórica y una Epistemología Histórica mutuamente dependientes

Aunque párrafos atrás criticamos el relativismo, debemos enfatizar que nos oponemos al relativismo desaforado, es decir, el que asume que “todo vale”. Pero hay otra noción de relativismo que está en el centro de nuestra perspectiva: es el que sostiene que todo objeto científico (o discurso científico) es *relativo* a una comunidad que lo reconoce como tal, colectivo que ha ideado y puesto en marcha prácticas científicas que permiten dar cuenta de la existencia de dicho objeto científico. Así, es posible que no exista una definición única de gen, pero ello no implica que cualquier objeto científico cuente como gen. El gen de los biólogos moleculares no necesariamente debe ser el mismo gen de los genetistas de poblaciones, cada uno de esos “dos genes” es *relativo* a las disciplinas en las que cumplen un papel explicativo. Por supuesto que hay comunicaciones entre estas dos disciplinas y se puede resignificar o traducir el gen molecular al gen poblacional (y viceversa)²⁹. Claro que hay una pluralidad ontológica en la ciencia, pero esa diversidad no nos lleva a que cualquier discurso sea válido, ya que hay una normatividad³⁰ científica que nos regula acerca de qué cuenta como una buena explicación, qué

29 No creemos en la inconmensurabilidad propuesta por Kuhn y Feyerabend, la cual lleva inevitablemente al relativismo desaforado.

30 Normatividad que no se reduce a aspectos epistémicos, sino que incluye elementos de tipo estético y ético, por ejemplo. Tampoco se trata de un conjunto de reglas que estén explícitas en un manual para hacer “buena ciencia”, manual que es inexistente. Entonces, una gran parte de esas normas son tácitas. Véase nuevamente la figura 1 y

significa hacer un uso correcto de los instrumentos, qué vale como una técnica apropiada, en fin, qué cuenta como conocimiento científico. No sobra decir que ello cobra sentido en el contexto de investigaciones particulares.

Lo anterior nos permite afirmar que los objetos científicos pululan en la medida en que se multipliquen los campos disciplinares particulares, pero, dado que las prácticas propias de esos campos están regularizadas por normas, ello implica que no todo valga, ello no nos lleva a abrazar un relativismo desbordado, no podemos decir que es igualmente válido el horóscopo elaborado por tales astrólogos y la predicción de un eclipse de luna por parte de tales astrónomos. Pero volviendo a la pluralidad ontológica de la ciencia, debemos subrayar que ésta no es producto ni de una realidad descubierta ni de una realidad que sólo habita en nuestra mente, sino que es una *emergencia* de las formas en que históricamente hemos interactuado con el mundo. Es desde esta perspectiva que Hacking se declara partidario de la *ontología histórica*³¹.

Hacking (2002) entiende la ontología como el estudio de objetos en general, los cuales no son sólo cosas, sino todo lo que individualizamos y sobre lo que podemos hablar. Entonces, la ontología no solamente da cuenta de objetos “materiales”, sino de clases, tipos de personas e ideas. Es por esto que él se declara como un *nominalista dinámico*, en la medida en que le interesa ver cómo interactúan nuestras prácticas de nominación con las cosas que nombramos. Igualmente, este autor se asume como un *realista dialéctico*, ya que le preocupan las interacciones entre lo que existe (y cómo llega a existir) y nuestras concepciones sobre lo que existe. Algo relevante que él se pregunta es que si la ontología da cuenta de cómo los objetos llegaron a existir, *¿de qué otra manera podemos entender la ontología si no es como histórica?* De este modo, la ontología histórica defendida por Hacking es la que estudia los objetos (o sus efectos) que no existen en ninguna forma reconocible hasta que ellos llegan a ser objetos de estudio científico. Ésta es la noción de ontología histórica que asumimos en este artículo.

Regresando a las relaciones entre lo que existe y nuestras concepciones sobre ello, es importante retomar la distinción que Hacking (2001) plantea entre objeto e idea. Desde esa perspectiva, cuando alguien se refiera a la *construcción social del gen*, se debe precisar que lo que es construido socialmente es la *idea* del gen³², no el gen en sí. Ésta es otra forma de rechazar la idea

piénsese en los aspectos estéticos que juegan un rol importante en esa representación pictórica. No será difícil concluir que esa normatividad es implícita.

31 Cabe señalar que Hacking retomó la idea de ontología histórica de Foucault, quien sostiene que ésta es un estudio que tiene que ver con “la verdad mediante la cual nos constituimos como objetos de conocimiento”, con “el poder a través del cual nos erigimos como sujetos que actúan sobre otros” y con “la ética por medio de la cual nos instituímos como agentes morales”. Foucault llama a esos tres ejes de la ontología histórica como conocimiento, poder y ética (Hacking, 2002, p. 2). En este escrito nos referiremos a la propuesta que Hacking retoma de Foucault, por lo que no entraremos en detalles con respecto a lo planteado por el autor francés.

32 Hacking es irónico, y con justeza, al decir que la afirmación “*X es socialmente construido*” es una redundancia, ya que sostener que *algo* ha sido construido implica que hay unos constructores, es decir, nosotros, que, como seres sociales, construimos ese *algo* en el marco de una sociedad.

de constructivismo radical. No sobra repetir que, desde nuestro punto de vista, el objeto es una *emergencia* de la interacción entre nosotros (nuestras prácticas, nuestras representaciones, etc.) y el mundo (los objetos *en sí mismos*). En este orden de ideas, las nociones de “nominalismo dinámico” y “realismo dialéctico” acuñadas por Hacking, nos permiten traer nuevamente a colación el ejemplo de los fósiles como entidades materiales y como objetos científicos.

El fósil como entidad material tiene una historia que es *natural* (geológica y biológica), pero ésa no es la única historia que nos importa para abogar por una ontología histórica. También debemos tomar en cuenta la *historia cultural* de ese objeto que llamamos fósil, es decir, las diferentes maneras en que lo hemos entendido, las formas en que lo conocemos, las prácticas que nos han permitido constituirlo como objeto científico, y los discursos científicos que hemos elaborado sobre él. Así, el punto relevante es, parafraseando a Haüy y a Hertz, que *el proceso de fosilización y la teoría de este proceso deben concordar o, dicho de otro modo, que historia natural y la historia cultural del fósil deben coincidir y estar de acuerdo la una con la otra*. Los planteamientos de algunos autores nos ayudarán a argumentar por qué los objetos científicos son, a la vez, *no-naturales*³³ e *históricos*.

En particular, Daston y sus colegas propusieron en el año 2000 la categoría de “metafísica aplicada”, la cual resulta solidaria con la de ontología histórica, según Hacking. Daston la entiende como una *ontología en movimiento*, puesto que da cuenta de cómo llegan a existir (y cómo dejan de existir) dominios completos de fenómenos como objetos de investigación científica. En este orden de ideas, Daston afirma que *“Si la metafísica pura trata del mundo etéreo de lo que está siempre y en todas partes, desde el punto de vista de Dios, entonces la metafísica aplicada estudia el dinámico mundo de lo que emerge y desaparece del horizonte del trabajo de los científicos”* (2000, p. 1).

Daston también hace una reflexión sobre lo que significaría hablar de objetos en un sentido amplio (objetos naturales), a los que define como evidentes, es decir que no son evanescentes ni están ocultos. No se necesita de ningún instrumento para detectarlos. No precisan ser descubiertos o investigados, ya que implican la auto-evidencia. Pero si nos referimos a los objetos en el contexto científico, entonces éstos son todo lo contrario. Igualmente, esta autora trae a colación las disputas que ha habido entre realistas y construccionistas con respecto a la naturaleza de los objetos científicos. Para los primeros cobra sentido hablar de la historia del descubrimiento científico, pero no de una *genuina historia* de los objetos científicos. Mientras que los segundos entienden los objetos científicos como invenciones, éstos han sido forjados en contextos históricos específicos y modelados por circunstancias locales. Para los construccionistas, los objetos científicos son eminentemente históricos, pero no reales. Así las cosas, Daston enfatiza que los dos bandos asumen la oposición entre real y construido, pero la metafísica aplicada reconoce que los objetos científicos pueden ser a la vez reales e históricos.

33 De acuerdo con lo planteado por Canguilhem, y por Daston y Galison. Véase el primer aparte de este trabajo.

De esta manera, entonces, en las propuestas que hemos traído a colación evidenciamos unas interesantes relaciones entre la ontología y la epistemología. Frente a esto, podemos decir que un proyecto epistemológico no es posible si no se hacen reflexiones ontológicas (y viceversa). Una manera de ver estas relaciones es a partir de lo que ha planteado Hacking (2001, p. 49), quien adoptó la terminología de John Searle, acerca de lo “ontológicamente subjetivo” y lo “epistemológicamente objetivo”: *“El alquiler que tienes que pagar es totalmente objetivo (y está en el mundo), pero requiere de prácticas humanas para existir. Es ontológicamente subjetivo, porque sin los sujetos humanos y sus instituciones no existiría un objeto tal como el alquiler. Pero el alquiler es epistemológicamente objetivo. Tú sabes muy bien que debes pagar 850 dólares el primero de mes (no hay nada de subjetivo en eso)”*.

En ese sentido, podemos decir que los objetos científicos son epistemológicamente objetivos, pero que requieren prácticas científicas para ser traídos a la existencia (son ontológicamente subjetivos). El aspecto que nos interesa resaltar es que no puede haber objetos científicos sin la actividad científica de sujetos cognoscentes³⁴. En consecuencia, tanto los objetos como los sujetos (y, por ende, el proceso de conocer) son entidades históricas, y desde esta perspectiva vemos una conexión entre epistemología histórica y ontología histórica. Por ello, si la ontología histórica nos muestra la historicidad de los objetos científicos, la epistemología histórica nos enseña las maneras en que históricamente hemos conocido dichas entidades. El acto de conocer precisa de sujetos cognoscentes y objetos a ser conocidos, lo interesante es que la epistemología histórica da cuenta de cómo sujeto y objeto son entidades históricas que se instituyen como tales en un contexto específico.

Retomando la dicotomía real-construido, podemos decir que ésta no es sino una manifestación de otras disyunciones que hemos puesto de presente: objeto-sujeto, ontología-epistemología y naturaleza-sociedad (o mente)³⁵. Como hemos visto, algunos autores han hecho frente a esas separaciones, desde diferentes perspectivas. No obstante, consideramos que nuestra propuesta es más cercana a la de Latour (1998 y 2001). Latour, usando el ejemplo de cómo Pasteur dio cuenta de la existencia de las fermentaciones y los microorganismos, nos muestra que así como los científicos constituyen a los objetos, del mismo modo éstos constituyen a aquéllos. Así como Pasteur ayudó a establecer la existencia de los agentes fermentadores, del mismo modo los microorganismos contribuyeron a desarrollar la carrera de Pasteur.

34 Debemos señalar que no entendemos las prácticas como una simple instrumentación, sino que la teorización o la modelación también entran en esta categoría. Así, pues, los objetos teóricos como los números, también son traídos a la existencia por medio de prácticas y, en ese sentido, son relativos a (o dependen de) investigaciones específicas. Por ello, este tipo de objetos también hacen parte de la ontología histórica y plural que defendemos.

35 No sobra recordar que en la filosofía de la ciencia se han propuesto otras separaciones que, nos parece, tienen un mismo origen o, al menos, unas finalidades similares: dar primacía, para lo que cuenta como conocimiento, a uno de los dos extremos que se postulan. Al respecto, podemos traer a colación la distinción que se hizo en el marco del empirismo lógico entre contexto de justificación y contexto de descubrimiento, o la separación que Lakatos propuso entre historia interna e historia externa de la ciencia.

Es desde esta perspectiva que Latour nos conmina a reconocerle historicidad no sólo a los científicos sino a los objetos de conocimiento. Pero, continúa este autor, la historia implica acción, por lo que es preciso denominar a estos objetos como actores. Dado que esta nominación se ha usado para referirse a seres humanos, entonces Latour opta por llamarlos *actantes*. De esta manera, los objetos dejan de ser simples marionetas, cuyos comportamientos dependen exclusivamente de los hilos que mueva el titiritero, ya que han adquirido el derecho de ser actores, en todo el sentido de la palabra. Así, pues, siguiendo con la analogía de Latour, la actividad científica requiere de escenarios, guiones, público y, por supuesto, actores. En este contexto, los objetos científicos o actantes, no son meros extras, ni hacen parte de una escenografía inerte; desde ahora ellos son parte activa de la obra, de tal suerte que si no se comportan como se espera, la trama tendrá un desenlace totalmente impredecible.

Hasta aquí hemos mostrado que la historia y la filosofía de las ciencias deben dar cuenta, a la vez, de la historicidad de sujetos y objetos, o en palabras de Latour, de actores humanos y actantes no humanos. En suma, hemos abogado por la historicidad del conocimiento científico, lo cual conlleva entender que objetos científicos y sujetos cognoscentes se constituyen mutuamente en un devenir histórico, por ello, al hablar de la existencia de unos y otros, debemos abandonar, inexorablemente, el constructivismo y el realismo radicales. En la sección final exploraremos algunas implicaciones de estas discusiones en el terreno de la didáctica de las ciencias.

5. De la Filosofía de las Ciencias a la Enseñanza de las Ciencias

En diversos lugares hemos planteado la necesidad de establecer relaciones entre los discursos metacientíficos de la ciencia (historia, filosofía, sociología, etc.) con los discursos didácticos de la actividad científica³⁶. Aquí no plantearé propuestas concretas acerca de cómo vincular las reflexiones metacientíficas hechas en ese escrito con estrategias particulares de enseñanza. Más bien, nos interesa poner de presente la relevancia de *ser conscientes* de las implicaciones didácticas de este tipo de discusiones.

Querámoslo o no, seamos conscientes o no, las propuestas histórico-filosóficas de la ciencia producen y refuerzan una imagen (o unos imaginarios) acerca de lo que es la actividad científica. Y, por supuesto, esos imaginarios se convierten en importantes referencias para organizar currículos, diseñar actividades de enseñanza, y proponer la estructura y los contenidos de los libros de texto³⁷, por ejemplo. Así, es evidente que - diferentes formas de asumir la ciencia han permeado la manera en que entendemos su enseñanza, lo que se ha plasmado en diversas propuestas didácticas. Sólo a manera de ejemplo, debería sorprendernos lo que hay detrás de la propuesta que se denominó como “aprendizaje

36 En especial véase Castro (2006).

37 Con respecto a las relaciones entre los discursos histórico-filosóficos de las ciencias y la organización y contenidos de enseñanza en los libros de texto (en particular en el caso de la enseñanza de la teoría evolutiva), véase Castro (2003).

por descubrimiento”, propuesta que orientó, hace décadas, la enseñanza de las ciencias. Debería sorprendernos, en la medida en que no fue explícita la fuente que nutrió ese enfoque, la cual podemos situar, grosso modo, en el empirismo lógico. Desde esta perspectiva, Matthews (2005, p. 434) nos muestra esquemáticamente algunos de los pilares de dicho proyecto didáctico, de los cuales destacamos los siguientes:

- El estudiante, *por sí solo*, puede *descubrir* y *justificar* verdades científicas.
- El lenguaje y los conceptos requeridos en el aprendizaje de la ciencia pueden ser adquiridos *independientemente* del maestro y, en general, en *ausencia* de la interacción social.
- Los conceptos científicos se forman por abstracción de *particulares*.
- El método científico es *inductivo*³⁸.

En síntesis, el aprendizaje por descubrimiento es totalmente coherente con lo que hemos denominado realismo extremo. Recordemos que para esa postura filosófica hay una única realidad que es independiente de los sujetos, la cual es descubierta por ellos, descubrimiento que se puede hacer en ausencia de los otros, ya que se supone que las capacidades cognitivas humanas son inmunes al contexto. Descubrir es una mala palabra, si lo que queremos es aludir al aprendizaje de las ciencias. El asunto es más desolador si nos percatamos de que los sustentos histórico-epistemológicos que daban soporte a esta perspectiva del aprendizaje no eran explícitos para los enseñantes. De este modo, es lamentable que enseñemos ciencia orientados por unos presupuestos que nos desorientan y, lo peor, que no nos demos cuenta de ello.

Se podría pensar que esta situación fue superada por la avalancha de propuestas constructivistas que se postularon a inicios de la década de 1980 en el contexto anglosajón³⁹ (Matthews, 2005). Claro que con el constructivismo pasó algo diferente, ya que todos los enseñantes *asumían ser conscientes* de lo que esta perspectiva implicaba, y decidieron declararse constructivistas, aunque, duele decirlo, el constructivismo también es una palabra desafortunada si lo que queremos es enseñar ciencias. Por supuesto que esta perspectiva tuvo ventajas y ha logrado importantes avances en la didáctica de las ciencias, pero nos ha heredado otro tipo de problemas que no hemos entendido por completo o, peor aún, no hemos sido conscientes de ellos. Infortunadamente, el constructivismo ha devenido en un “slogan” o una “moda”, más que en una propuesta didáctica de la cual entendamos todas sus implicaciones (positivas y negativas).

38 Los énfasis son nuestros.

39 El constructivismo tiene varias fuentes históricas, sociológicas y filosóficas, de las cuales podemos destacar dos: el movimiento que se llamó “la nueva filosofía de la ciencia” (cuyos representantes más notables son Kuhn Hanson y Feyerabend), y el programa fuerte de la sociología del conocimiento (dentro de sus integrantes más conocidos tenemos a Barnes y Bloor). Pero debemos señalar que muchas de las propuestas de estos movimientos han sido puestas en duda por los estudios recientes sobre la ciencia, y varias de ellas han sido superadas. A este respecto, véanse trabajos que ya hemos citado como Hacking (2001), Latour (2001) y Daston (2000).

Cabe aclarar que el constructivismo que atacamos es el que hemos denominado como radical, pero también debemos señalar que ésta ha sido la perspectiva imperante en la enseñanza de las ciencias, sobre todo en el marco de la propuesta de von Glasersfeld⁴⁰. De manera general, este movimiento asume la realidad como una construcción del individuo, que no tiene por qué corresponder con las construcciones de otros sujetos y, por ende, no puede ser transmitida. Como hemos visto páginas atrás, esta forma de entender el constructivismo lleva inevitablemente a un relativismo desbordado, y ello tiene funestas implicaciones en la enseñanza. Por ejemplo, *“Una encrucijada que enfrentan con frecuencia los maestros constructivistas es decidir qué pasa cuando, como se reconoce que sucede, el significado que un niño construye difiere de aquél que el maestro intentaba transmitir”* (Matthews, 2005, p. 430).

Por supuesto que no entendemos y, creemos que Matthews tampoco lo hace, que la enseñanza se reduzca a una mera transmisión, pero si nos tomamos en serio los productos y procesos de la ciencia, no esperaremos que cualquier significado sobre el gen, por ejemplo, sea válido en la escuela. Nosotros, como maestros, esperamos que nuestros estudiantes aprendan conceptos, actitudes y procedimientos acordes con lo que ocurre en la ciencia. Tenemos en mente *un* concepto de gen y esperamos que ése sea el que oriente su enseñanza. Desde luego que en el proceso que va desde el conocimiento científico a los contenidos de enseñanza hay diversas transformaciones, por lo que no podemos esperar que los estudiantes aprendan el concepto gen tal y cual como lo entienden los científicos, entre otras cosas, porque, como hemos visto, no creemos que haya un único concepto de gen, y porque hay muchos aspectos del tema que para los estudiantes no serían interesantes o importantes de aprender, e incluso incomprensibles.

Pero esto no implica que en dicho proceso, en vez de haber transformaciones, se lleven a cabo *deformaciones* del saber científico. Tampoco aceptamos que los estudiantes, desde su individualidad, construyan nuevos y variados conceptos de gen, desconociendo el trabajo de una comunidad científica que se ha ocupado del tema por muchísimas décadas. Claro que tampoco se trata de imponer a los estudiantes verdades científicas como si fuesen dogmas. El asunto es muy complejo, por lo que debemos evitar caer en soluciones fáciles como las que nos han prometido las perspectivas que hemos criticado.

Ahora bien, si asumimos con responsabilidad las discusiones planteadas aquí, entenderemos que los estudiantes, como sujetos históricos, pueden aprender críticamente el conocimiento

40 De acuerdo con Matthews (2005), desde la década de 1980 von Glasersfeld ha ejercido una notable influencia, con su propuesta de constructivismo radical, en la enseñanza de las matemáticas y las ciencias naturales. No obstante, Matthews critica seriamente esta influencia, ya que esa propuesta está centrada en el empirismo (por ejemplo, al sostener que todo conocimiento surge de la experiencia o que no hay distinción posible entre observación y teoría, la llamada “carga teórica de la observación”, etc.). Pero, la crítica más aguda de Matthews tiene que ver con el hecho de que ese tipo de constructivismo es un heredero de la propuesta psicológica individualista del conocimiento de Piaget (no de la propuesta social de Vigotsky, que también adolece de fallas, como lo expresa Matthews) y, en ese sentido, *“Este individualismo sería comprensible al hablar del ‘conocimiento cotidiano’, es decir, cuando la gente piensa qué va a comer o si el agua de la tetera está hirviendo, pero es completamente inadecuado para analizar si el conocimiento científico es o no adecuado (sic)”* (Matthews, 2005, p. 443).

científico que se ha elaborado históricamente. Por ello, llamamos la atención para que seamos conscientes de las implicaciones didácticas que devendrían si abandonamos, fundamentados en razones de peso, el realismo y el constructivismo radicales, y las propuestas de enseñanza-aprendizaje que en ellos se apoyan. En suma, invitamos a los enseñantes de ciencia para que se indague a fondo qué imagen de ciencia se está *transmitiendo*⁴¹, y qué tipo de saber se está propiciando en la escuela si nos declaramos partidarios de una u otra corriente histórico-filosófica. Es innegable que no estamos dando recetas para enseñar temas científicos, como el gen, inspirados en esta nueva forma de ver las relaciones entre epistemología histórica y ontología histórica que denominamos *historicidad del conocimiento científico*. Pero también es innegable que ella tiene importantes implicaciones en la enseñanza, las que no entenderemos cabalmente hasta que no abandonemos las ideas de descubrimiento y construcción del saber científico.

6. A modo de conclusión

En este escrito hemos planteado la posibilidad, y la *necesidad*, de asumir la existencia de los objetos científicos desde un lugar diferente al constructivismo y al realismo, toda vez que esas propuestas conllevan implicaciones didácticas que nos alejan de una visión compleja del quehacer científico. El ejemplo de cómo se ha constituido históricamente el objeto gen, nos ha servido de andamiaje para allegar elementos acerca de las características de los objetos científicos en general. Éstos no existen sin las prácticas científicas que los posibilitan. Pero las prácticas y los practicantes tampoco existirían sin los objetos que los movilizan. Nuestro énfasis ha estado en la *mutua constitución histórica* de objetos y sujetos de conocimiento. Volviendo al ejemplo del gen, que ha sido el eje central de este texto, permítasenos hacer una analogía: el conocimiento científico (de los objetos) sería similar al fenotipo, ya que no depende exclusivamente del adentro (genotipo) ni del afuera (ambiente), sino que es una emergencia del diálogo que se sostiene entre el adentro (nuestra mente) y el afuera (el mundo). Así, el conocimiento (los objetos) no está en un lado ni en otro, sino en la interacción misma.

Hemos visto que nuestros genes son una restricción y una posibilidad biológica que nos permite desarrollar unas estructuras y capacidades, pero no otras. En general, las características biológicas que nos constituyen como especie humana nos han posibilitado vivir en el mundo en el que vivimos, pero no en otro, como el mundo de la mosca o de la avispa. Igualmente, las condiciones culturales nos han permitido ver nuestro mundo humano desde el marco conceptual de nuestra cultura. En parte, nuestros genes nos han permitido ser lo que somos, lo que implica que asumamos la existencia de determinados objetos, dentro de los cuales están, desde luego, los genes. Un poco al estilo de Latour, diremos que los genes nos constituyen a la vez que los constituimos a ellos. He ahí la interesante complejidad de asumir la realidad desde una visión diferente a como la han comprendido los realistas extremos y los constructivistas radicales.

41 Varios aspectos de la cultura, como el lenguaje, las tradiciones y los imaginarios sobre la ciencia, por ejemplo, se transmiten de una generación a otra, por lo que no vemos contradicción alguna con lo que dijimos párrafos atrás acerca de la transmisión de saberes.

Referencias bibliográficas

Bowler, P. (2001). *El surgimiento del mendelismo*. En: Barahona, A, Suárez, E, & Martínez, S. (compiladores). *Filosofía e historia de la biología*, pp. 379-398. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Canguilhem, G. (1978). El objeto de la historia de las ciencias. En: *Sociología*, Nº 1, pp. 7-14. Medellín, Colombia.

Castro, J.A. (2003). Libros de texto: historia y filosofía de las ciencias. En: *Nodos y Nudos*, (15), pp. 4-18.

Castro, J.A. (2006). *Interrelaciones entre historia, epistemología y didáctica de las ciencias: el caso del modelo del operón lac en biología molecular. Un análisis de textos universitarios*. Tesis de grado, Maestría en Docencia de la Química, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.

Castro, J.A. (2008). La obra de Lavoisier como un modelo para la historia de las ciencias. En: *Tecné, Episteme y Didaxis*, (23), pp. 89-106.

Castro, J.A. (2009). La idea de contingencia histórica como eje central del darwinismo. Una discusión en torno a la actualidad de Darwin. En: *Bio-Grafía: escritos sobre la biología y su enseñanza*, (2) 3. Disponible en: <http://www.pedagogica.edu.co/revistas/ojs/index.php/bio-grafia/index>

Castro, J.A., Valbuena, E., & Sierra, C.A. (2009). *La hipótesis de progresión como enfoque para el estudio de las representaciones sobre la Biología*. En: Viales, R., Amador, J., y Solano, F. (compiladores). *Concepciones y Representaciones de la Naturaleza y la Ciencia en América Latina*, pp.35-42. San José: Universidad de Costa Rica.

Daston, L. (Ed.). (2000). *Biographies of Scientific Objects*. Chicago: The University of Chicago Press.

Daston, L., & Galison, P. (2007). *Objectivity*. New York: Zone Books

Dawkins, R. (1988). *El relojero ciego*. Barcelona: Labor.

Hacking, I. (2001). *¿La construcción social de qué?* Barcelona: Paidós.

Hacking, I. (2002). *Historical Ontology*. Cambridge, Massachusetts & London, England: Harvard University Press.

Ibarra, A., & Mormann, T. (2000). Una teoría combinatoria de las representaciones científicas. En: *Crítica Revista Hispanoamericana de Filosofía*, Vol. XXXII, N° 95, pp. 3- 46. México, D.F.

Jacob, F. (1989). *La estatua interior*. Barcelona: Tusquets.

Jacob, F. (1998). *El ratón, la mosca y el hombre*. Barcelona: Crítica.

Jacob, F. (1999). [1970]. *La lógica de lo viviente. Una historia de la herencia*. Barcelona: Tusquets.

Jacob, F., & Monod, J. (1961). Genetic regulatory mechanisms in the synthesis of proteins. In: *Journal of Molecular Biology*, (3), pp. 318-356.

Latour, B. (1998). *Pasteur y Pouchet: heterogénesis de la historia de las ciencias*. En: Serres, M. (editor). *Historia de las ciencias*, pp. 477-501. Madrid: Cátedra.

Latour, B. (2001). *La esperanza de Pandora. Ensayos sobre la realidad de los estudios de la ciencia*. Barcelona: Gedisa.

López Beltrán, C. (2005). *Por una nueva historiografía de los conceptos científicos. El caso de la herencia biológica*. En: Martínez, S., & Guillaumin, G. (compiladores). *Historia, Filosofía y Enseñanza de la Ciencia*, pp. 307-346. México: Universidad Nacional Autónoma de México e Instituto de Investigaciones Filosóficas.

Lwoff, A. (1998). [1967]. *El orden biológico*. México: Siglo XXI.

Mahner, M., y Bunge, M. (2000). *Fundamentos de Biofilosofía*. México: Siglo XXI.

Matthews, M. (2005). *El constructivismo y la enseñanza de las ciencias*. En: Martínez, S., & Guillaumin, G. (compiladores). *Historia, Filosofía y Enseñanza de la Ciencia*, pp. 419-460. México: Universidad Nacional Autónoma de México e Instituto de Investigaciones Filosóficas.

Morin, E. (2000). *Cultura y conocimiento*. En: Watzlawick, P., & Krieg, P. (Compiladores). *El ojo del observador. Contribuciones al constructivismo*, pp. 73-81. Barcelona: Gedisa.

Olivé, L. (2003). *Los objetos biotecnológicos: Concepciones filosóficas y consecuencias para su evaluación*. En: *Acta Bioethica* (Continuación de Cuadernos del Programa Regional de Bioética OPS/OMS), Año IX, N° 1, pp. 9-19.

Olivé, L. (2007). *La ciencia y la tecnología en la sociedad del conocimiento. Ética, política y epistemología*. México: Fondo de Cultura Económica.

Putnam, H. (1994). *Las mil caras del realismo*. Barcelona: Paidós-ICE/UAB.

Vallejo, F. (1998). *La tautología darwinista y otros ensayos de biología*. Madrid: Taurus.

