

Bio - Ensayos

## La modelización en la construcción del conocimiento científico: algunas confluencias entre ciencia y arte\*.

Por: Julio Alejandro Castro Moreno<sup>1</sup>.

*A partir de una representación determinada del sistema, se elaboraba un experimento que ponía a prueba uno u otro aspecto de esta representación. En función de los resultados, se modificaba la representación para preparar otro experimento y así sucesivamente. De este modo funcionaba la investigación en biología. Al contrario de lo que yo había creído, el procedimiento científico no consistía sencillamente en observar, en acumular datos experimentales para elaborar una teoría a partir de ellos, sino que se iniciaba con la invención de un mundo posible o de un fragmento de mundo posible, para irlo confrontando, a través de la experimentación, con el mundo exterior. Y era ese diálogo sin fin entre la imaginación y la experimentación lo que hacía posible la formación de una representación cada vez más ajustada de lo que se llama "la realidad"*

François Jacob, *La estatua interior*.

### Introducción

Tradicionalmente, muchos científicos y filósofos de la ciencia han asumido a ésta como una forma privilegiada de conocer, si se quiere como la forma más perfecta y verdadera de conocimiento. En ese sentido, se concibe que la empresa científica difiere radicalmente de otras maneras de conocer, como por ejemplo, el arte. El objetivo central de este escrito es exponer algunos argumentos que podrían poner de presente que entre ciencia y arte hay más similitudes que diferencias, sin pasar por alto que se trata de dos maneras distintas de conocer lo que se denomina la *realidad*.

Para poder allegar los elementos arriba citados, es necesario recurrir a los planteamientos de un biólogo molecular que ha hecho determinadas reflexiones sobre la historia y la epistemología de las ciencias; François Jacob, en especial las que hizo en torno a las similitudes en la forma de proceder y de construir conocimiento en la ciencia y en el arte.

Un aspecto esencial para poder dar cuenta de dichas confluencias, es el concepto de modelo, toda vez que se asume que en la construcción de modelos científicos o en el proceso de *modelización*, se requiere que los científicos pongan en juego una serie de procesos que se creían propios del arte y ausentes en las ciencias: la imaginación y la creatividad. Para ejemplificar lo anterior, se expondrá brevemente la forma en que históricamente se construyó un modelo científico: el del operón lac, proceso en el que participó el científico francés mencionado anteriormente.

---

<sup>1</sup> Profesor Departamento de Biología, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá. E-mail [jcastro@pedagogica.edu.co](mailto:jcastro@pedagogica.edu.co)



Finalmente, se plantean algunas implicaciones de lo aquí expuesto para la formación de profesores de ciencias, por ejemplo, la importancia que tiene para los futuros docentes asumir la ciencia como una actividad menos rígida, y así comprenderla como una actividad cultural.

### **Sobre el concepto de ciencia**

Desde los postulados del presente trabajo, la ciencia no se concibe como el producto de una acción, sino como la acción en sí misma, la cual es realizada por colectivos humanos con unos intereses particulares y en contextos socioculturales específicos. En pocas palabras, se podría asumir a la ciencia como una actividad cultural (Rodríguez & Ayala, 1996) o como una actividad de construcción de explicaciones (Bautista & Rodríguez, 1996), o más particularmente como un quehacer que, frecuentemente, construye modelos explicativos que permiten comprender y explicar el mundo. Sin embargo, se hace la aclaración que cuando se usa el término *actividad*, no se está equiparando, *únicamente*, a la operatividad de instrumentos y técnicas, sino que ésta también tiene que ver con una acción que se vuelve pensamiento o un pensamiento que deviene en praxis. Es decir, que el hecho de plantearse preguntas, problemas y posibles explicaciones es también una forma de actuar. O en los términos de Maturana y Varela (1996): *Todo hacer es conocer y todo conocer es hacer*.

### **La ciencia de día y la ciencia de noche. O las confluencias entre ciencia y arte**

Un planteamiento en relación con la ciencia, y que ampliamente se comparte desde este trabajo, es el que postula Jacob (1998), particularmente en lo que atañe a las distinciones que tradicionalmente se han esgrimido entre arte y ciencia. Si bien él afirma que se trata de dos actividades diferentes, en la medida en que responden a intereses diversos, también pone de presente que no son tan disímiles como se había pensado durante mucho tiempo. Para llevar a cabo su proyecto, habla acerca de que la ciencia no opera por un método todopoderoso y preestablecido desde el inicio de una investigación, y que los únicos motores de la ciencia no son la objetividad, la lógica y la razón, sino que también juegan un papel muy importante la creatividad, la subjetividad y la imaginación<sup>2</sup>.

De acuerdo con lo anterior, Jacob (1998) se refiere al método científico no como unos pasos a seguir para ir de lo desconocido a lo conocido o de la oscuridad a la luz. Por el contrario, esta idea de método se origina por la manera en que los científicos plasman el devenir de sus investigaciones en diferentes textos como informes, artículos, ponencias y libros. En otros términos, los científicos muestran su actividad como un encadenamiento lógico de etapas predefinidas, cuando en el proceso mismo de su quehacer aparecen aspectos que se interponen como obstáculos y, entonces, las preguntas cambian, las dificultades acechan y lo inesperado está al orden del día.

---

<sup>2</sup> Características que se creían distintivas del arte y ausentes en la ciencia.



Es por ello que Jacob (1998) hace una distinción entre lo que llama la *ciencia de día* y la *ciencia de noche*<sup>3</sup>. La primera, en resumen, es la que aparece en los informes que los científicos ponen a consideración de una comunidad, en donde priman la lógica, la objetividad y la razón. Mientras que la segunda es la que queda oculta en las penumbras, es la etapa creativa en donde se permite la ensoñación y la imaginación, es el momento en que ella se interroga *investigándose a sí misma*. Jacob termina mostrando cómo la ciencia de noche es la “etapa” que tiene muchas características en común con el arte, pero, paradójicamente, no sale a la luz porque no se considera como científica por la ortodoxia.

### **Sobre el concepto de modelo**

Es de anotar que Jacob (1998), para comparar la ciencia con el arte, hace énfasis en la ciencia de noche, es decir, en el proceso de construcción de preguntas e hipótesis, pero se pueden ver otras confluencias entre estas dos formas de construir saberes, por ejemplo, en el proceso de construcción de modelos científicos, lo cual implica procesos como la imaginación y la creatividad. En lo que sigue se pondrá de presente este aspecto.

Teniendo en cuenta que diversos autores asumen diferentes interpretaciones acerca de lo que es un modelo, a continuación se sintetizará lo que ello significa en el marco del presente escrito.

De acuerdo con Felipe, Gallarreta y Merino (2005), los modelos son constructos humanos, lo que implica que su existencia inicial esté en la mente de una persona. Obviamente, dicha construcción está mediada, no solamente por las características biológicas de todo ser humano, sino que ello también está en relación con contextos sociales muy particulares. Tales constructos individuales se denominan *modelos mentales*, a los cuales no se puede tener un acceso directo, es decir, que de ellos no se pueden tener evidencias observables, sino que son comunicados y socializados mediante diferentes estrategias, tales como discursos (orales o escritos), gráficas, maquetas, dibujos, ecuaciones, diagramas, etc. A éstos se les denomina *modelos expresados*.

Por lo tanto, un modelo mental es la representación que se hace un individuo acerca de ciertos aspectos que, según él hacen parte de (lo que se denomina) el mundo real, pero dicha representación no se puede socializar, a menos que se traduzca en otro tipo de representación que sería, en principio, una materialización del modelo mental o la construcción de un modelo expresado o, dicho de otra manera, este último sería la representación de la representación de un aspecto de la realidad. En este orden de ideas, “*Los modelos expresados se convierten en modelos consensuados a partir de su discusión y aceptación por parte de un grupo social*” (Felipe, Gallarreta & Merino, 2005).

---

<sup>3</sup> Probablemente, Jacob retoma y reelabora esta idea a partir del trabajo de Lecourt, D. (1975). *Bachelard o el día y la noche*. Barcelona: Anagrama.

Siguiendo con estos autores, los modelos también se caracterizan por los siguientes aspectos: en tanto son construcciones mentales tienen naturaleza temporaria, ya que se pueden modificar o reemplazar; son representaciones de ideas o conceptos (enmarcados dentro de una teoría) que se tienen de cómo es y cómo funciona el mundo; son uno de los principales productos de la actividad científica y de otras actividades culturales; cumplen un importante papel en la construcción de conocimiento y la comprensión de fenómenos naturales y sociales; simplifican fenómenos o hacen que éstos sean más fáciles de explicar; y, coexisten diferentes modelos que se pueden utilizar para describir los mismos aspectos de la realidad.

Lo anterior precisa de ciertas aclaraciones: el hecho de simplificar un aspecto de la realidad, no quiere decir que con ello se esté asumiendo una postura reduccionista, sino que se concibe que al construir un modelo, se estaría traduciendo una realidad compleja en un sistema más asequible, lo que permitiría una mejor comprensión de los elementos que lo constituyen y las relaciones que se establecen entre dichos elementos. Por ende, los modelos no pueden ser copias exactas del mundo, sino que son estrategias cognitivas que permiten organizarlo y actuar dentro de él.

En ese sentido, Fourez (1994) compara los modelos con los mapas geográficos: así como el mapa no es el terreno, el modelo no es la realidad. Pero una buena elaboración y comprensión del mapa les permite a los viajeros ubicarse adecuadamente en el terreno y no perderse, del mismo modo que un modelo permite organizar el mundo experiencial para movilizarse en él. De acuerdo con lo anterior, más que una representación del mundo, los modelos serían *“una representación de nuestro campo de acción posible en el mundo [y, por ende] Dentro de esta óptica, ya no nos planteamos el saber si los modelos son «verdaderos», sino que sencillamente nos interesa su eficacia en un marco dado”* (Fourez, 1994).

### **El ejemplo del Modelo del Operón Lac**

No se entrará en detalles con respecto a este modelo científico, ya que ello trasciende las intencionalidades del presente escrito<sup>4</sup>. Por lo tanto, sólo basta con mencionar 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*. En lo que sigue, se plantearán algunos ejemplos de cómo, en la elaboración de este modelo, se pueden hallar algunas confluencias entre ciencia y arte. Se empezará por decir que uno de los aspectos esenciales para construir modelos científicos es la necesidad de representar lo no visible: *“Los biólogos son enemigos de lo abstracto, en cuanto aparece un fantasma, un ser producto del razonamiento, en seguida se forman una representación visual”* (Jacob, 1989). Podríamos equiparar dicha representación visual con la elaboración de un modelo.

Al inicio del artículo de 1961, Jacob y Monod se preguntan acerca de cómo se lleva a cabo la regulación objeto de sus investigaciones, en la que estaba implicada una represión, frente a lo cual proponen dos alternativas: *“Whether the agent acts at the cytoplasmic level,*

---

<sup>4</sup> Para mayores detalles se sugiere la lectura de los siguientes trabajos: Castro (2006) y Jacob and Monod (1961).

by controlling the activity of the messenger, or at the genetic level by controlling the synthesis of the messenger"<sup>5</sup> (Jacob & Monod, 1961). Hacia el final del señalado texto se presenta esta misma situación, pero por medio de un esquema, como se muestra en la figura 1.

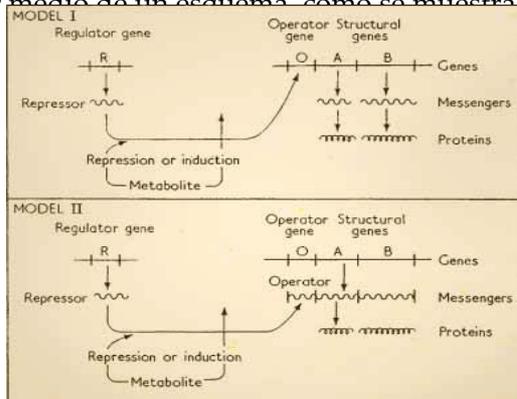


Figura 1. Dos modelos de regulación de la síntesis de proteínas (tomada de Jacob and Monod 1961).

En las conclusiones de su artículo, Jacob y Monod proponen el modelo del operón, pero no de manera gráfica, como se le ha difundido ampliamente, sino expresado en los siguientes términos:

The molecular structure of proteins is determined by specific elements, the *structural genes*. These act by forming a cytoplasmatic "transcript" of themselves, the structural messenger, which in turn synthesizes the protein. The synthesis of messenger by the structural gene is a sequential replicative process, which can be initiated only at certain points on the DNA strand, and the cytoplasmatic transcription of several, linked; structural genes may depend upon a single initiating point or *operator*. The genes whose activity is thus coordinated form an *operon*. The operator tends to combine (by virtue of possessing a particular base sequence) specifically and reversibly with a certain (RNA) fraction possessing the proper (complementary) sequence. This combination blocks the initiation of cytoplasmatic transcription and therefore the formation of the messenger by the structural genes in the whole operon. The specific "repressor" (RNA), acting with a given operator, is synthesized by a *regulator gene*<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Si el agente actúa en el nivel citoplasmático, controlando la actividad del mensajero, o en el nivel genético, controlando la síntesis del mensajero.

<sup>6</sup> La estructura molecular de las proteínas se determina por elementos específicos, los *genes estructurales*. Éstos actúan formando un transcrito citoplasmático, denominado mensajero estructural, el cual, a su vez, sintetiza las proteínas. La síntesis del mensajero por parte de los genes estructurales es un proceso secuencial replicativo, el cual se puede iniciar solamente en ciertos puntos de la cadena de ADN, y la transcripción citoplasmática de algunos genes estructurales contiguos de un simple punto de iniciación: *el operador*. Los genes, cuya actividad es así coordinada, forman un *operón*. El operador tiende a combinarse (en virtud de que posee una secuencia de bases particular) específica e irreversiblemente con determinada fracción (ARN) que posee la adecuada (complementaria) secuencia de bases. Dicha combinación bloquea la iniciación de la transcripción citoplasmática y, por lo tanto, impide la formación del mensajero por parte de todos los genes estructurales pertenecientes a determinado operón. El represor específico (ARN), que se combina con un operador dado, es sintetizado por un *gen regulador*.



Vemos que Jacob y Monod, proponen un sistema y su regulación para dar cuenta del fenómeno en cuestión. Con base en el párrafo anterior, se evidencia que ellos tienen dudas acerca de si el represor era una molécula de ARN<sup>7</sup>, mientras que cuando aluden al mensajero no utilizan signo de interrogación. Este último aspecto, nos permite recordar que antes de que la existencia del ARNm se demostrara experimentalmente, Jacob y Monod (1961) se atrevieron a pronosticar algunas de las características que éste debería poseer, lo cual coincidió de manera excepcional con lo hallado posteriormente:

(...) let us then consider what properties would be required of a cellular constituent, to allow its identification with the structural messenger. These qualifications based on general assumptions and on the results discussed above, would be as follows:

1. The "candidate" should be a polynucleotide.
2. The fraction would presumably be very heterogeneous with respect to molecular weight (...).
3. It should have a base composition reflecting the base composition of DNA.
4. It should, at least temporarily or under certain conditions, be found associated with ribosomes, since there are good reasons to believe that ribosomes are the set of protein synthesis (...)<sup>8</sup>.

Se trae a colación este ejemplo, en la medida que se pone de presente que en la ciencia es posible la predicción a partir de determinados hechos experimentales, aspecto que quizá es una diferencia significativa con respecto al arte. Pero más allá de las diferencias, hemos querido mostrar que entre arte y ciencia hay muchas similitudes, sobre todo en lo que atañe al papel que cumplen la imaginación y la creatividad a la hora de representar el mundo. Como nos lo anunciaba Jacob en el epígrafe, y parafraseándolo un poco: la actividad científica consiste en inventar una posible explicación del mundo (o una parte de él) y ponerla a prueba. A la representación de dicha explicación la llamamos modelo, en cuya elaboración trascendemos los procesos mentales e instrumentales aceptados por la tradición científica.

### **Algunas implicaciones para la formación de profesores de ciencias**

Consideramos que los planteamientos aquí hechos cobran gran relevancia en un programa de formación inicial de profesores de ciencias, en la medida en que diversos autores han demostrado que las representaciones o concepciones que éstos tengan sobre la ciencia,

---

<sup>7</sup> Lo que resultó ser erróneo, ya que se trataba de una proteína alostérica.

<sup>8</sup> Vamos entonces a considerar qué propiedades serían requeridas de un constituyente celular, para permitir su identificación con el mensajero estructural. Estas cualidades, basadas en suposiciones generales, y en los resultados discutidos anteriormente, serían las siguientes: 1) El "candidato" debería ser un polinucleótido. 2) La fracción sería, presumiblemente, muy heterogénea con respecto al peso molecular. 3) Debería tener una composición de bases que refleje ese mismo aspecto en el ADN. 4) Debería, al menos temporalmente o bajo ciertas condiciones, hallarse asociado a los ribosomas, ya que hay buenas razones para creer que los ribosomas son el sitio en el que se realiza la síntesis de proteínas.



orientarán sus prácticas de enseñanza. Por ejemplo, si un docente concibe a la ciencia como un proceso que requiere de la utilización de *un* método científico, es de esperar que enseñe determinado tema acorde con esta premisa, o si asume que el conocimiento científico *solamente* es el producto de la experimentación es muy probable que sus actividades en el aula estén centradas en las prácticas de laboratorio.

En consonancia con lo anterior, es importante que los maestros en formación empiecen a comprender qué otras características de las ciencias han de tenerse en cuenta a la hora de ser enseñadas y, según nuestros postulados, es de vital importancia rescatar las reflexiones que han hecho algunos científicos, como Jacob, acerca de que la ciencia no es tan lejana a otras actividades culturales como el arte.

## Referencias

Bautista, G., y Rodríguez, L. (1996). La ciencia como una actividad de construcción de explicaciones. *Revista Física y Cultura. Cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias*, N°2, *Representaciones sobre la ciencia y el conocimiento*, pp. 65-73.

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.

Felipe, A., Gallarreta, S., & MERINO, G. (2005). La modelización en la enseñanza de la biología del desarrollo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4 (3). Disponible en <http://www.saum.uvigo.es/rec>

Fourez, G. (1994). *La construcción del conocimiento científico. Filosofía y ética de la ciencia*. Madrid: Narcea.

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

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

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

Maturana, H., Y Varela, F. (1996). *El árbol del conocimiento. Las bases biológicas del conocimiento humano*. Madrid: Debate.

Rodríguez, L., Y Ayala, M. (1996). La historia de las ciencias y la enseñanza de las ciencias. *Revista Física y Cultura. Cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias*, N° 2, *Representaciones sobre la ciencia y el conocimiento*, pp. 75-95.