

E. Rubio, Julio

El surgimiento de la biología molecular

Ciencia UANL, Vol. XII, Núm. 2, abril-junio, 2009, pp. 135-142

Universidad Autónoma de Nuevo León

México

Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=40211229004>



Ciencia UANL

ISSN (Versión impresa): 1405-9177

rciencia@mail.uanl.mx

Universidad Autónoma de Nuevo León

México

¿Cómo citar?

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista

El surgimiento de la biología molecular

□ Julio E. Rubio



Colin MacLeod.³

Podemos identificar al menos tres etapas de la evolución histórica de la biología molecular:¹ la primera corresponde a la etapa de gestación. La segunda etapa define un núcleo atrincherado de objetos de conocimiento centrados alrededor del dogma central de la biología molecular. La tercera etapa parte del periodo dogmático y se divide en dos direcciones distintas. Por un lado, la biología molecular inicia su etapa de *ciencia normal* alrededor de un conjunto de problemas particulares que asumen una interpretación informacional de la continuidad hereditaria. Por el otro, un nuevo sistema de investigación se genera alrededor de la tensión entre una aproximación estructural-matematizada de la información y una aproximación funcionalista y antirreduccionista de las propiedades informacionales de las macromoléculas. Cada uno

de estos periodos muestra los procesos de construcción de una disciplina científica. En particular nos interesa mostrar: *a)* la dinámica de interacción de paradigmas de investigación, *b)* el lugar de la tecnología en la formación de una disciplina, *c)* el principio reduccionista que subyace en la dinámica de la ciencia.

Interacción entre paradigmas

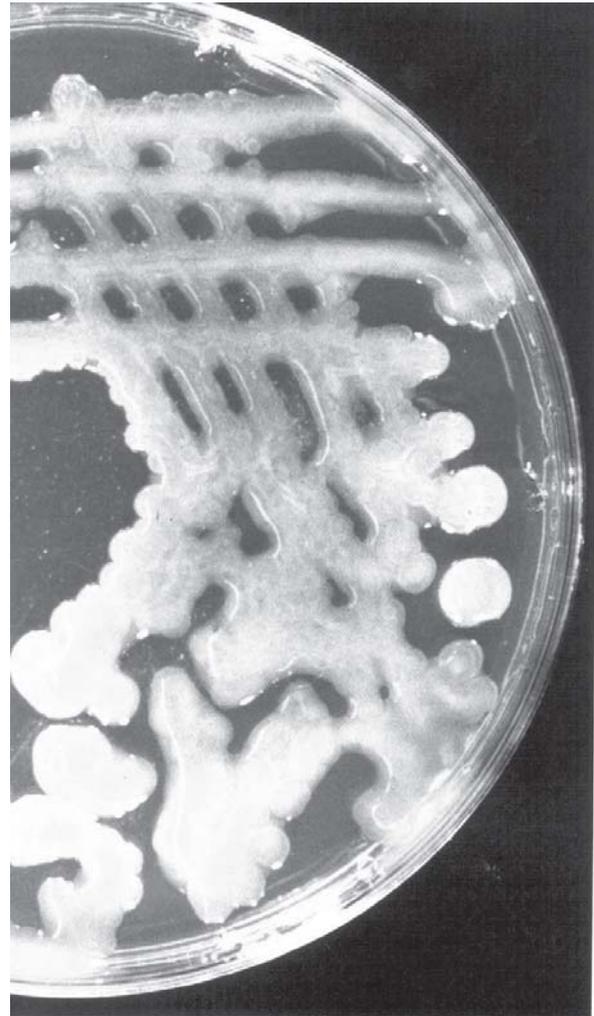
Durante las primeras décadas del siglo XX, las condiciones estaban dadas para establecer una pregunta acerca del mecanismo de la herencia en términos informacionales. Se habían descartado las hipótesis históricas de orientación vitalista y la teoría de la generación espontánea, de tal modo que la pregunta por la herencia biológica se convirtió en el objeto de investigación de un sistema que trataba de identificar las macromoléculas informacionales y sus mecanismos de operación. Este sistema de investigación siguió tres aproximaciones que se mantuvieron relativamente independientes durante sus fases iniciales en las primeras décadas del siglo XX.

La aproximación bioquímica investigaba las rutas metabólicas de operación de las sustancias involucradas en la herencia. Particularmente trataba de resolver la interacción entre genes y enzimas. Algunos de los investigadores notables en esta corriente fueron: Garrod, Beadle, Tatum, Avery, Macleod y McCarthy.

La aproximación propiamente informacional se proponía la ambiciosa tarea de encontrar nuevas leyes de la naturaleza que explicaran las propiedades informacionales de la materia biológica.² Los investigadores más notables de esta corriente constituyeron el llamado «Grupo del fago», liderado por Max Delbrück.

La aproximación *estructurista* trataba de resolver cuál era precisamente la estructura de las macromoléculas participantes. Sus investigadores más notables fueron Watson y Crick, quienes resolvieron, en 1953, la estructura del ADN.

Las tres aproximaciones anteriores constituyeron, por algún tiempo, orientaciones relativamente aisladas entre sí.



Las terminologías de cada campo de investigación eran distintas y buscaban respuestas diferentes al problema de la herencia. El ejemplo de aislamiento comunicacional más espectacular es posiblemente el desconocimiento relativo en que se mantuvo la asociación entre replicación molecular y ADN, encontrada por Avery, MacLeod y McCarthy, y publicada en 1944.⁴ Habrían de pasar casi diez años para que los ácidos genéticos fueran establecidos definitivamente como el *locus* de la información hereditaria. El descubrimiento de Avery y sus colegas estuvo fuera del proceso de investigación que condujo a este resultado (aunque retrospectivamente se reconoce el trabajo del equipo de Avery). La frontera

comunicacional se generó desde la estructura del campo de investigación donde se produjo el trabajo del equipo de Avery: la medicina experimental. El artículo donde se publica el resultado no estaba dentro del circuito de comunicación de las aproximaciones dirigidas al problema de la herencia. Más aún, el artículo no se ocupa de hacer explícitas las consecuencias del hallazgo para la genética. Tampoco los sistemas de *abstracts* lo asociaron con la genética, a pesar de la relevancia que pudiera haber tenido en el desarrollo de ese campo. Por otro lado, el "Grupo del fago" cerraba también su círculo a través de la creación de sistemas internos de comunicación y periodos de reclutamiento que especializaban a los científicos participantes en su aproximación y realizaban incluso "retiros" de producción de *papers*.

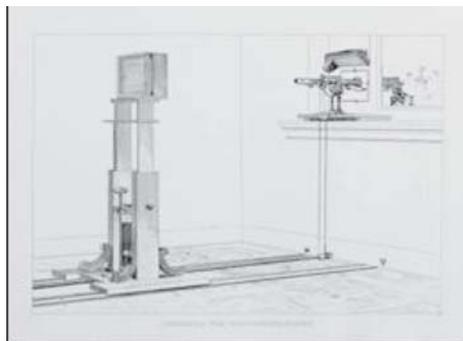
La dinámica de los paradigmas científicos sigue rutas evolutivas, en tanto puede generar disciplinas perfectamente diferenciadas, pero también puede generar la convergencia de aproximaciones a un mismo problema, especialmente cuando existe un problema común. Éste fue el caso en las etapas tempranas de la biología molecular. No obstante el distanciamiento relativo de las aproximaciones al problema de la herencia, los resultados de las tres aproximaciones entraron eventualmente en resonancia y se integraron en una perspectiva unificada. El develamiento de la maquinaria molecular, alcanzada por Watson y Crick, en 1953, fue también la integración de las tres orientaciones que hemos señalado antes. Watson y Crick conjuntaban formaciones académicas y de investigación que incluían las tres orientaciones. La develación del mecanismo de la herencia se materializó en la solución a la estructura del ADN (aproximación estructurista), pero incluyó la cadena de interacciones metabólicas entre ácidos genéticos y proteínas (aproximación bioquímica) y una interpretación informacional de las propiedades del ADN como sustancia portadora del código genético (aproximación informacional). La develación de la maquinaria molecular de la herencia definió el objeto epistémico como una caja negra que operaría, a partir de entonces, con un núcleo de conceptos y descripciones consolidadas que daban una base al paradigma de investiga-

ción. La biología molecular misma nace de esta definición.

En función del fuerte atrincheramiento de las condiciones de estabilización del paradigma fundacional de la biología molecular, la década que sigue a la conclusión del trabajo de Watson y Crick es denominada por Mullins¹ "fase dogmática". Es muy ilustrativo que el cuerpo central de la nascente disciplina haya sido llamado el "dogma central de la biología molecular". Este periodo consolidó un vocabulario informacional que establecía la residencia del código genético en el ADN, y describía el funcionamiento molecular como decodificación de los ácidos genéticos con un contenido informacional que fluía exclusivamente desde el ADN hacia el resto del aparato molecular y biológico. El periodo dogmático logró la estabilización de la aproximación informacional como interpretación ortodoxa de las estructuras y el metabolismo de la maquinaria molecular de la herencia.

Conocimiento y tecnología

De manera simultánea a la construcción de un paradigma que sería la base fundacional de la genética molecular, y en una relación de acoplamiento estructural, es decir, como un elemento necesario de la operación de esta disciplina, el sistema de investigación de la herencia molecular también desarrolló objetos tecnológicos que materializaron las sustancias y técnicas de manipulación para proporcionar el sustento observacional del sistema teórico. El objeto tecnológico es la estructura estable de producción de fenómenos que resultan de una investigación experimental.⁵ Los sistemas



Aparato para micrografía.³



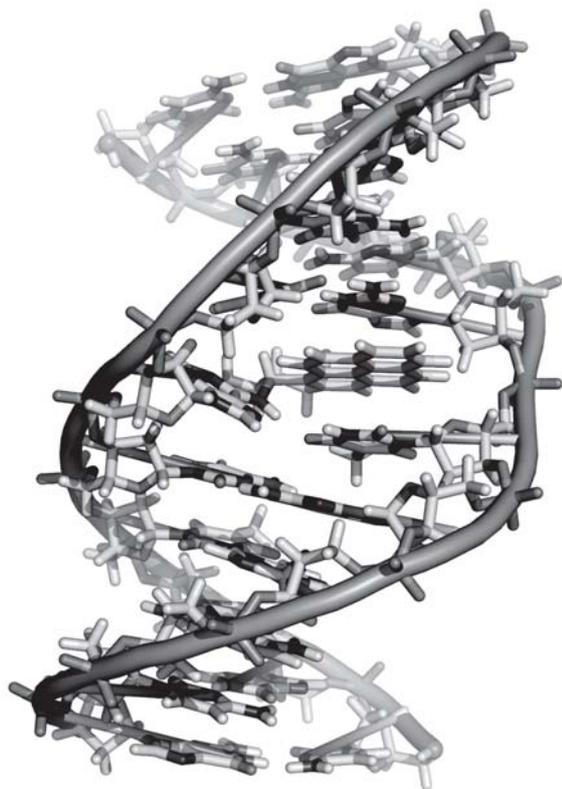
de investigación teórica construyen una representación de la naturaleza en acoplamiento con sistemas de investigación experimental que sistematizan los mecanismos de observación del fenómeno bajo estudio. Debe quedar claro, sin embargo, que el sistema experimental posee un cierto nivel de autonomía con respecto al sistema teórico. El sistema teórico se sostiene fundamentalmente en la generación de predicados y representaciones, en tanto el sistema experimental se sostiene fundamentalmente en la generación de procesos controlados de interacción física, donde se manipula el objeto de estudio mediante materiales de mediación y dispositivos tecnológicos. El sistema experimental genera registros de trazos y los traduce en predicados intersubjetivos que permiten el acoplamiento con los predicados del sistema teórico. No puede ser de otra manera, si los resultados

experimentales se han de volver parte de la comunicación científica.

Los sistemas experimentales son generadores de fenómenos estables, y sus objetos epistémicos no producen predicados en primera instancia, sino objetos tecnológicos que son manipulables según técnicas bien determinadas. La tecnología entra en la dinámica de la ciencia como el medio de producción de fenómenos estables con la utilización de dispositivos y técnicas cada vez más sofisticadas. Sin estos fenómenos estabilizados no es posible la construcción de teorías observacionales sobre la naturaleza.

La evolución del sistema de investigación que da lugar al nacimiento de la biología molecular es rica en ejemplos de la evolución de los sistemas experimentales y de la interpenetración entre ciencia y tecnología. El nacimiento de

la biología molecular fue posible porque la investigación experimental llegó a producir ciertos objetos tecnológicos altamente estables. El más importante de estos objetos es indudablemente el ADN y sus técnicas de manipulación. Los objetos tecnológicos propios de la biología molecular fueron constituidos con el auxilio de la microscopía electrónica,⁶ los dispositivos de centrifugado, las técnicas de cristalografía de rayos X, etc. La dependencia de los medios tecnológicos de producción experimental para la estabilización de los resultados observacionales es tal que simplemente es inconcebible la producción y manipulación de estos objetos sin la tecnología involucrada. En este sentido, la ciencia no sólo construye sistemas de conocimiento, sino fenómenos y estructuras materiales, inexistentes sin tecnologías específicas.⁷ Varios autores argumentan que se trata de una construcción de los fenómenos, más que de un descubrimiento de los mismos.⁸

Molécula de ADN.¹³

Información, entropía y reduccionismo

Como resultado de la consolidación de la biología molecular, el lenguaje informacional quedó también como una aproximación ortodoxa a la genética.⁹ Sin embargo, un nuevo sistema de investigación teórica sobre la naturaleza de la información genética se independizó relativamente de la evolución de la biología molecular. La tensión entre una interpretación estructural-matematizada de la información y una interpretación funcional fue el corazón del nuevo objeto de investigación. La tecnología aportó esta vez elementos a la dinámica de la ciencia desde una teoría orientada a la optimización de la transmisión de señales: la teoría de la información de Claude Shannon.

La teoría de Shannon propuso una definición matemática del contenido de información de mensajes codificados en secuencias de unidades de un alfabeto base.¹⁰ La estructura de los mensajes de Shannon es isomórfica con respecto a la estructura de las secuencias genéticas que se forman a partir de cuatro bases: adenina, guanina, citosina y timina. Además, la estructura de la ecuación de información promedio en los ensambles de mensajes de la teoría de Shannon también es isomórfica con respecto a la ecuación de la entropía termodinámica dada por la ecuación:

$$H = -k \sum P_i \log P_i$$

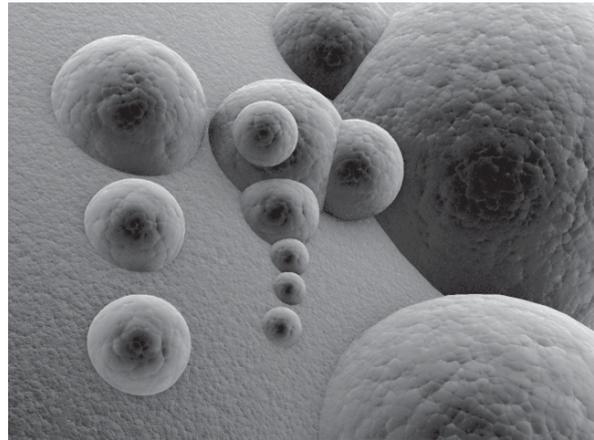
Estas dos condiciones dispararon uno de los mecanismos comunicacionales más frecuentes de interacción entre distintos sistemas de conocimiento: la analogía. Usando como fundamento la analogía entre mensajes codificados en teoría de la comunicación y secuencias genéticas, se han intentado una y otra vez aplicar las ecuaciones de Shannon al contenido informacional de los genes y a la identificación entre orden informacional y entropía negativa. Si se lograra demostrar esta equivalencia, se tendría la *reducción* de un fenómeno biológico a una explicación en términos de la física.

El reduccionismo es una de las condiciones estructurales de la producción científica que manifiesta su orientación

hacia la producción de sistemas cerrados de codificación.¹¹ Esta tendencia puede notarse en los proyectos unificatorios que pretenden encontrar una clave para la constitución de un gran sistema integrado según algún principio metodológico o epistemológico. Una de las expresiones más reiteradas de tales proyectos unificatorios ha sido la postulación de la física como la ciencia paradigmática y sustento final del resto de la producción científica. En este espíritu, Shannon (animado por Von Neumann) decidió dar el nombre de entropía a un parámetro de sus ensambles estadísticos de mensajes. Como estrategia comunicacional fue una excelente decisión, dando lugar a una serie de discusiones sobre la relación entre información y entropía como condiciones generales que podrían aplicarse no solamente a los ensambles estadísticos de mensajes, sino también a los sistemas físicos y biológicos. La información parecía ser el puente conceptual que proporcionaría condiciones para reducir la biología a la física.

Sin embargo, la tensión reduccionista entre el carácter estructural de la definición matematizada de la información y el carácter funcional del comportamiento de las macromoléculas genéticas no ha sido resuelta.¹² El objeto epistémico de este nuevo sistema de investigación enfrenta un camino difícil por la vía reduccionista, pues las estructuras de aplicación de los conceptos de información y entropía en los campos involucrados presentan distinciones fenomenológicas fundamentales. El contexto de las ecuaciones de Shannon es el de procesos estocásticos donde mensajes de un ensamble son emitidos con cierta probabilidad. La información de cada mensaje es una función de su probabilidad de ocurrencia (específicamente del inverso de esa probabilidad).

La cantidad de información contenida en una secuencia genética, entendida como probabilidad de ocurrencia de una secuencia particularizada contra un ensamble hipotético formado por las posibles combinaciones de las bases nucleicas, carece de sentido para un organismo particular, pues no existe el proceso estocástico donde los mensajes del ensamble se materialicen. Si consideramos la especie o el con-



junto de los seres vivos como el ensamble de mensajes, entonces podría considerarse algún sentido para el contenido informacional de cada secuencia genética, pero aun así no estaría claro que la probabilidad de ocurrencia de una secuencia genética específica, es decir, un individuo de una especie dada, sea una medida de contenido informacional, debido a la diversidad poblacional en diferentes especies.

Por otro lado, la información genética solamente tiene sentido en el contexto de interacciones funcionales entre moléculas biológicas. El ADN tiene su principal función como un elemento de un sistema orgánico donde se generan estructuras biológicas a partir de la interacción de las secuencias genéticas con otras moléculas del organismo. En este contexto, las secuencias genéticas no son emisiones estocásticas y su probabilidad de ocurrencia es igual a uno, pues constituyen, en todo caso, mensajes definitivos del sistema.

Por otro lado, el contexto fenomenológico de la entropía termodinámica es un espacio de fase física (es decir, el conjunto de estados cinéticos posibles de un ensamble de moléculas). La entropía termodinámica cuantifica la cantidad de microestados que corresponden a un cierto macroestado físico. De nuevo, las ecuaciones de Shannon no describen el mismo tipo de fenómeno, dado que los estados termodinámicos representan estados físicos de moléculas, y los mensajes de Shannon son representaciones matemáticas con muchas posibles manifestaciones físicas. Tampoco se

puede aplicar la distinción entre macroestado y microestado, porque cada mensaje en la teoría de Shannon tiene una sola estructura, mientras los macroestados termodinámicos tienen un número muy grande de microestados posibles.

De las distinciones estructurales entre la información de un mensaje codificado, la información de una secuencia genética y la entropía de un sistema termodinámico se deriva la imposibilidad lógica, al menos hasta ahora, de construir relaciones reductivas, entre la entropía física y la información biológica, que generen algún tipo de conocimiento con un sentido claro. La mera identificación analógica de orden y entropía negativa no es suficiente para tal reducción.¹⁴ Más allá del isomorfismo estructural de las ecuaciones de la entropía termodinámica e informacional, y del isomorfismo entre mensajes de Shannon y ADN, la analogía pierde su capacidad heurística para establecer relaciones epistémicas efectivas, cuando se intentan forzar las condiciones de aplicación en aras de un ideal reduccionista.

La persistencia de estas identificaciones no puede explicarse desde el isomorfismo de las aplicaciones analógicas de las ecuaciones, sino desde una epistemología que persigue la unificación de la ciencia y distingue el lugar privilegiado de la física y del lenguaje matemático como modelo de la construcción del conocimiento científico.

La unidad del sistema científico no se encuentra en la existencia de principios epistémicos –por ejemplo, la universalización fenomenológica de la física– que logren la integración de la diversidad de campos de conocimiento. No obstante, la ciencia posee consistencia en las metaestructuras epistemológicas que organizan la comunicación científica y la construcción de sistemas de proposiciones, aunque carezca de una caracterización universal, explícita y autorreflexiva. Bajo principios muy generales, la ciencia construye sistemas particulares de conocimiento que tratan de lograr codificaciones que minimicen la ambigüedad de interpretación y maximicen la descripción de los fenómenos. Por esta razón, el lenguaje matemático es el ideal para la ciencia, pues esta forma de codificación construye espacios de fase donde el comportamiento de los fenóme-

nos queda totalmente circunscrito por una región de posibilidades matemáticas, donde no es posible la interpretación subjetiva. Cualquier afirmación fenoménica sobre el objeto de estudio que no esté comprendida en su codificación matemática, deja un margen de interpretación. Cuando el campo de estudio se resiste a la codificación matemática, al menos ha de buscarse un campo mínimo de variables lógico-semánticas que hagan las veces de variables de estado del fenómeno estudiado.

En cualquier caso, un núcleo bien atrincherado de conceptos en cada sistema de comunicación científica tendrá la función de base que garantice la continuidad del sistema. Aunque alguna connotación de los términos base puedan ser causa de conflicto en otros sistemas de investigación, para el sistema comunicacional el núcleo atrincherado comprende una estructura de proposiciones compartidas por los miembros bien entrenados de la comunidad,¹⁵ lo que podríamos llamar un «paradigma» en términos de Kuhn. El núcleo base del sistema es el paradigma capaz de ordenar la comunicación y de canalizar las operaciones de cada sistema de conocimiento.

Conclusión

La estabilización de la biología molecular como disciplina robusta con un núcleo de predicados bien atrincherados alrededor de una narrativa del comportamiento de la maquinaria molecular de la herencia y de un conjunto de objetos tecnológicos, dispositivos y técnicas de manipulación, ha seguido su curso hasta ser uno de los campos de estudio más importantes en la ciencia contemporánea. Incluso, el cuestionamiento reciente del dogma central no parece amenazar la fortaleza de la biología molecular. La evolución de la genética molecular muestra con claridad los principios evolutivos de la construcción de disciplinas científicas. Distintos paradigmas siguieron rutas independientes hasta su convergencia en una disciplina con un núcleo estable de principios y técnicas. Además, se valió de la tecnología desde su nacimiento mismo y ha sido fuente de dispositivos crea-

dos *ex profeso* para el tipo de fenómenos que constituyen su objeto de estudio. Finalmente, ha incorporado a la química y a la física en su lenguaje y en sus principios metodológicos, y sigue el principio reduccionista que distingue a la ciencia de otras tradiciones de pensamiento. La genética molecular contemporánea, en conjunto con la biología molecular, a pesar de mantener tensiones no resueltas desde un punto de vista epistemológico, seguirá evolucionando durante las siguientes décadas, y seguramente veremos el incremento de complejidad de sus principios y técnicas, así como una convergencia creciente con la nanotecnología y las tecnologías de información que caracterizarán la ciencia del siglo que inicia.

El autor agradece al Tecnológico de Monterrey por el apoyo recibido para la realización de este trabajo.

Referencias

1. Nicholas Mullins. "The Development of a Scientific Specialty: the Phage Group and the Origins of Molecular Biology". *Minerva* X, 1972, pp. 51-82.
2. Garland Allen. *Life Science in the Twentieth Century*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 1979.
3. National Library of Medicine, www.nlm.nih.gov
4. Pierre Thuillier. "Comment est née la Biologie Moléculaire", en Pierre Thuillier (Ed.). *Jeux et enjeux de la science*, Paris, Laffont, 1972, pp. 111-141
5. Hans-Jörg Rheinberger. "Experiment, difference and writing II. The laboratory production of transfer RNA". *Studies in history and philosophy of science*. Vol. 23, No. 3, 1992, pp. 389-422
6. Thomas Anderson. "Electron Microscopy of Phages". En: Cairns, G.S. Stent y J.D. Watson (Eds.). *Phage and the origins of Molecular Biology*, New York, J. Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1992, pp. 63-78.
7. Ian Hacking "Experimentation and scientific realism". En: *Philosophical Topics* 13, 1982, pp. 71-87.
8. Karin Knorr-Cetina, "The ethnographic study of scientific work: towards a constructivistic interpretation of science". En: Knorr-Cetina & Mulkay (Eds.). *Science observed: perspectives on the social studies of science* Thousand Oaks, CA, Sage Publications, 1983, pp. 115-140
9. Benoit Mandelbrot "¿Es útil todavía la teoría de la información?". En: Marcial Gueroult (Ed.). *El concepto de información en la ciencia contemporánea*. Coloquios de Royamount. México, Siglo XXI Editores, 1966, pp. 55-70.
10. Claude Shannon. "A Mathematical theory of communication". En: *Bell System Techn. J.* Vol. 27, pp. 379-423, and Vol. 27, 1948, pp. 623-656.
11. Francisco Ayala "Reduction in Biology: a recent challenge". En: Depew, D. J. & Weber, B. H. (Eds.). *Evolution at crossroads: The New Biology and the New Philosophy of Science*. Cambridge, MA, MIT Press. 1985 pp. 67-78.
12. André Lwoff. *Biological order*. Cambridge MA, Massachusetts Institute of Technology. 1962.
13. Wikimedia, <http://upload.wikimedia.org>
14. Jeffrey Wicket. "Entropy and information: suggestions for common language". En: *Philosophy of Science*, 54, 1987 pp.176-193
15. Manfred Eigen *Steps towards Life. A perspective on evolution*. Oxford University Press, New York, Tokio, 1992.