

LOS CONCEPTOS ESTRUCTURALES EN EL APRENDIZAJE POR INVESTIGACION *

GAGLIARDI, R.

Ciencias Biológicas, Universidad de Ginebra.

(*) Ponencia presentada en las IIIas. Jornadas de Estudio sobre la investigación en la Escuela. (Sevilla, diciembre, 1985).

SUMMARY

As a contribution to the making of a new didactical model, this paper faces the following questions:

- Which are the mechanisms to understand the learning process?
- Which are the pedagogical issues and strategies that may facilitate learning?

Specific instances from the teaching of Biology are used.

1. INTRODUCCION

El tema de estas jornadas nos invita a una doble reflexión: ¿Cuáles son los mecanismos para comprender el proceso de aprendizaje? ¿Cuáles son los temas y las estrategias pedagógicas que pueden facilitar el aprendizaje?

Creemos que las respuestas solo pueden establecerse con el aporte de todos, maestros, alumnos, pedagogos. Creemos que un nuevo modelo didáctico, solo será válido si es resultado de la participación de todos los interesados.

Nuestra ponencia se desarrollará en ese sentido, tratando de indicar algunos elementos que creemos importantes para ese proceso.

2. LOS RESULTADOS ESTRUCTURALES

2.1. Las representaciones de los alumnos

Hay numerosas investigaciones en las que se demuestran que las representaciones de los alumnos son diferentes a los conceptos que se les quiere enseñar.

De acuerdo a los criterios de evaluación «no aprendieron», o aprendieron «mal».

Pero si se quiere ir más allá de la simple evaluación hay que tratar de comprender por qué construyeron un concepto «falso» y no uno «verdadero» (desde el punto de vista del profesor). Podemos suponer que las representaciones no son gratuitas, sino que responden a los conocimientos previos del alumno, con los que forman un conjunto coherente.

Es decir que el alumno las construyó, dándole un significado a lo que escuchó, y ese significado está determinado por los conocimientos anteriores.

Un ejemplo concreto puede servirnos para explicar esto.

Diversos trabajos muestran que luego de un curso sobre la reproducción, muchos alumnos responden que el feto está conectado por un tubo a los pulmones, la boca, los senos, o los intestinos de la madre. Incluso algunos niños conectan el feto con el ombligo de la madre (Giordan, 1984).

Estas representaciones no son un producto de la imaginación de los niños, sino que son coherentes con algo que todos conocen, la necesidad de alimentarse y de respirar.

Esos alumnos responden de forma adecuada a sus conocimientos anteriores. Si el feto está en una bolsa con agua, debe estar conectado de alguna manera con el aire exterior. La existencia de un tubo (el cordón umbilical) sirve para realizar esa conexión.

Otros alumnos dicen que está en una bolsa de aire, y lo conectan por un tubo con la boca a los intestinos de la madre, para explicar cómo se alimenta.

¿Por qué esos alumnos no aprendieron lo que se les explicó sobre el feto?

¿Por qué transformaron lo que escucharon en una representación diferente?

¿Cuál es el elemento que impide que puedan comprender cómo obtiene el feto el oxígeno y el alimento?

El elemento indispensable es el sistema de transporte. Cuando se comprende que hay un sistema que lleva el oxígeno y los alimentos a todo el organismo, se puede comprender muy bien que el feto debe estar conectado con el sistema circulatorio de la madre, y comprender la función del cordón umbilical y de la placenta. El concepto de sistemas de transporte que conecta todo el organismo es un ejemplo de lo que llamamos un «concepto estructurante», es decir un concepto cuya construcción transforma el sistema cognitivo, permitiendo adquirir nuevos conocimientos, organizar los datos de otra manera, transformar incluso los conocimientos anteriores.

En nuestro ejemplo, construir el concepto de sistema de transporte permitirá comprender la función del corazón, de las arterias y venas, del latido, la relación con el sistema respiratorio y el renal, la regulación de la tensión arterial, la nutrición, etc.

Los alumnos conocían la existencia de algunos de esos órganos y funciones, pero no las integraban en un todo coherente.

2.2. Valorar al alumno

Si en clase se discuten esas representaciones, y se demuestra que son coherentes con los conocimientos anteriores, pero que falta un conocimiento necesario para comprender cómo funciona el organismo, los alumnos verán valorada su capacidad de dar respuestas coherentes, y al mismo tiempo podrán comprender que su error no provenía de su incapacidad.

Creemos que es muy importante valorar al alumno, mostrar que es capaz de aprender, aunque las cosas que cree, sean diferentes de lo que la ciencia considera correcto.

Creemos que hay que valorar también los conocimientos construidos fuera de las instituciones científicas («saber hacer»), que, si bien suelen estar vehiculizados por concepciones mágicas o naturalizadas (las cosas son «así»), son correctos. Discutiremos este punto en nuestro ejemplo de una experiencia pedagógica en Togo. Antes trataremos de dar algunos elementos sobre el sistema cognitivo que sirvan para explicar qué son y cómo pueden utilizarse los conceptos estructurales.

2.3. Un modelo constructivista del conocimiento

Sin entrar en detalles sobre el funcionamiento del sistema cognitivo, creemos que hay algunas ideas generales que pueden servirnos para comprender mejor los conceptos estructurales.

En particular hay dos teorías que podemos utilizar para construir un modelo del conocimiento (Gagliardi, 1984).

Una de ellas es la teoría de sistemas jerárquicos de restricciones múltiples, de Howard Pattee, que aplicada al campo cognitivo indica que los conceptos y redes de conceptos establecen relaciones de restricción mutuas, que determinan que cada elemento tenga una significación específica. En otros términos, no hay una significación «per se» de cada concepto (incluso de cada palabra). Cada significación es resultado del juego de interacciones mutuas entre todos los elementos intervinientes. Como dice Douglas Hofstadter:

«Un concepto está determinado por la manera de estar conectado con otras cosas que también son conceptos. La propiedad de ser un concepto es una propiedad de conexión, una cualidad que está ligada a la pertenencia a un cierto tipo de redes» (Hofstadter, 1982).

La otra teoría, elaborada por Humberto Maturana y Francisco Varela es la de los sistemas autopoyéticos que se caracterizan por producirse a sí mismos, y al mismo tiempo producir las condiciones de su funcionamiento.

«Una máquina autopoyética es una máquina organizada como una red de procesos de producción, transformación y destrucción de componentes, mediante los cuales se generan esos mismos componentes y esas mismas relaciones, y al mismo tiempo se define la máquina como una unidad» (Maturana y Varela, 1980).

De esta teoría pueden deducirse dos propiedades del sistema cognitivo que tienen una gran aplicación en pedagogía. La primera es que el sistema cognitivo está en permanente funcionamiento; la otra es que las estructuras cognitivas no existen aisladas de los conceptos. En otras palabras, al construir un concepto el alumno construye (o reconstruye) su sistema cognitivo.

Utilizando la teoría de Pattee y la de Maturana, podemos decir que el hecho de construir un concepto estructurante determina una reestructuración del sistema cognitivo, que lo hace apto para construir otros conocimientos. Lo que importa no es lo que se aprenda, sino la transformación que determina aquello que se aprende.

Enfocado desde otro ángulo, el alumno da un significado a lo que percibe, en función de lo que ya conoce (su sistema de significación). El mismo fenómeno será interpretado en forma totalmente distinta si el sistema de significación es diferente. Cuando se construye un concepto estructurante se cambia el sistema de significación, permitiendo incorporar cosas que antes no se tomaban en cuenta o se les daba otro significado.

En nuestro ejemplo, para alguien que tenga nociones de anatomía, el feto es alimentado por el sistema circulatorio de la madre. Para los alumnos que no tenían esas nociones, aunque se les dijo que el cordón umbilical tenía venas y arterias, no le dieron importancia y lo olvidaron. Pero le dieron importancia a lo que ellos sabían, la necesidad de respirar y alimentarse.

Si aceptamos que es el alumno quien construye su pro-

pio conocimiento, y que para hacerlo utiliza los sistemas de significación que ha construido previamente, tenemos que aceptar también que es más importante permitir que construya algunos conceptos que provoquen la transformación conceptual, que obligarlo a memorizar una cantidad de cosas que para él no tienen sentido.

Es decir que, de acuerdo con esta concepción, bastaría definir cuáles son los conceptos estructurantes de una ciencia, para poder definir los «objetivos a alcanzar» en los diferentes cursos.

Los conceptos estructurantes no son «nuevos temas en un programa» sino objetivos generales que permiten construir nuevos conocimientos.

De acuerdo a la perspectiva constructivista, esos conceptos estructurantes serán también construidos por el alumno al mismo tiempo que construye otros conocimientos. Los puntos del programa deben ser elegidos en función de esa construcción.

Pero eso no es suficiente. Cambiar un tema por otro no resuelve el problema.

Decir, en lugar de la reproducción, hoy vamos a estudiar la existencia de un medio de transporte que conecta todo el organismo, no determina necesariamente que ese concepto estructurante sea construido por los alumnos. Puede ser simplemente memorizado y luego olvidado, o reinterpretado, transformándose en otra representación.

La idea de concepto estructurante sólo tiene sentido en una concepción constructivista como la que hemos esbozado, que insiste con el trabajo cognitivo de los alumnos en la construcción de su propio conocimiento. Es decir que no sólo hay que saber cuáles son los temas a enseñar, sino cuáles son las actividades que favorecen su aprendizaje.

Esos son los dos temas de todo cambio pedagógico, los programas y la actividad en clase.

No basta una transformación de los programas decidida por las autoridades educacionales para provocar un cambio positivo en la educación. Creemos que es necesario limitar los programas de estudio, pero creemos que es mucho más importante definir cuáles son los conocimientos que determinan la construcción de los conceptos estructurantes, y las actividades que la favorecen, y que al mismo tiempo permiten que el alumno se valore no por la repetición de cosas ya hechas, sino por el descubrimiento de sus propias capacidades.

Se abre entonces un nuevo campo de investigación en pedagogía: la definición de los conceptos estructurantes y de las estrategias pedagógicas asociadas.

Este campo de investigación está aún poco desarrollado; es necesario realizar un largo trabajo preparatorio, definir los conceptos estructurantes de cada ciencia

y definir la manera de utilizar las representaciones de los alumnos. Creemos que la definición de los conceptos estructurantes y de las estrategias pedagógicas asociadas, pueden ser uno de los ejes para desarrollar un nuevo modelo didáctico, que se puede ir construyendo y ensayando en clase.

Vamos a dar un ejemplo de cómo pueden establecerse los conceptos estructurantes en una ciencia, para mostrar luego una experiencia pedagógica concreta.

3. LOS CONCEPTOS ESTRUCTURANTES EN BIOLOGIA

3.1. Dificultades del aprendizaje en biología

La enorme diversidad de los organismos vivos y su gran complejidad hacen que la biología sea difícil de aprender.

Desde la síntesis de proteínas a la estructura de las poblaciones, desde la forma de expresarse los genes hasta el funcionamiento del sistema nervioso, hay muchos temas que no pueden aprenderse sin conocimientos previos de la biología y de otras ciencias.

¿Cómo comprender el funcionamiento celular sin un conocimiento básico en química?

¿Cómo llegar a definir la dinámica de poblaciones sin una base estadística?

Todos los temas requieren un aprendizaje previo, todos son difíciles, todos son necesarios.

Es así que los programas de biología son generalmente muy largos, y que una mayoría de los alumnos sólo recuerda algunos nombres raros, pero no adquiere los conceptos que puedan permitirle continuar su aprendizaje si así lo desea, o, por lo menos, tener un panorama global del funcionamiento y las propiedades de los sistemas vivos.

La relación entre la biología y el cuidado de la salud hace más crítica esta situación: muchos alumnos no adquieren los elementos necesarios para comprender el funcionamiento de su propio organismo, lo que evidentemente dificulta el aprendizaje de las normas mínimas para mantenerse en buena salud.

Frente a esta situación creemos que es necesario cambiar los programas de estudio, para que los alumnos puedan adquirir por lo menos los elementos básicos sobre los organismos y sobre sí mismos.

Pero, ¿cómo definir cuáles son los conceptos estructurantes de la biología?

3.2. Cómo usar la historia de la biología: el concepto estructurante de la importancia del nivel microscópico

Uno de los aportes más útiles que podemos obtener de la historia de la biología, es saber cuáles han sido los cambios conceptuales que permitieron el desarrollo de

la biología actual. A partir de ellos podremos establecer las bases del pensamiento biológico que los alumnos deben adquirir durante sus estudios.

Esas bases no son suficientes para conocer la biología, pero sí son indispensables para poder aprenderla.

Hacia fines del siglo XVIII se desarrolla un nuevo modelo explicativo, que indica que las características de un ser vivo están determinadas por la estructura microscópica subyacente. El cambio conceptual que determinó ese modelo permitió la incorporación a la descripción del mundo orgánico, de los resultados obtenidos en la física y en la química, y el desarrollo explosivo de la biología en el siglo pasado y en este siglo. Toda la concepción sobre los seres vivos está organizada por este modelo. Toda explicación en biología hace hoy referencia al nivel molecular subyacente. En la biología moderna, prácticamente todos los fenómenos se explican por la estructura molecular subyacente.

Saber que el nivel microscópico determina las propiedades del nivel macroscópico significa un cambio conceptual muy importante: no sólo aparece una «nueva necesidad de explicación» (nuevas preguntas), sino que todos los fenómenos son observados en forma diferente.

La «dominación del nivel macroscópico por el nivel microscópico» es un elemento necesario para poder aprender la biología, es lo que hemos llamado un concepto estructurante.

Es evidente que no hace falta formularlo de esta manera, que puede estar implícito en diversos contenidos, expresarse de diversas maneras, adquirirse a partir del estudio de la estructura celular, o de la composición química del organismo, o de la nutrición, o de la respiración, o de la genética... Pero es evidente que una vez que se construyó permitirá todos los otros conocimientos.

Un curso en el que se tome en cuenta este concepto estructurante, dedicará gran parte del tiempo a desarrollar diversos temas insistiendo en la relación entre los diferentes niveles, y no pasará a otros puntos, hasta haber verificado que ese concepto se ha adquirido.

3.3. El concepto de sistema jerárquico de restricciones múltiples y mutuas

En la biología actual hay una concepción dominante que explica todos los fenómenos biológicos en función de la composición molecular de los organismos. Las críticas a esta concepción señalan que no es suficiente conocer la composición de un ser vivo para explicar sus propiedades, sino que hace falta además tomar en consideración su organización espacial y temporal. Esta idea de totalidad está contenida en la teoría de sistemas jerárquicos de restricciones múltiples y mutuas de Howard Pattee, que dice que cada elemento de un organismo tiene una serie de posibilidades de configuración, pero que el conjunto de los otros elementos lo

restringe, «obligándolo» a adoptar una de ellas. A su vez, este elemento «participa» en la determinación de los demás. Las propiedades de un sistema complejo están determinados por las restricciones mutuas entre los componentes que determinan la aparición de un nuevo nivel de organización. Por ejemplo, las moléculas que componen una célula podrían tener cada una muchas configuraciones posibles, pero sólo adoptan una de esas configuraciones porque las otras moléculas así lo determinan. En conjunto forman la célula, que no sólo es una reunión de moléculas, sino una reunión de moléculas que se restringen las unas a las otras.

El concepto de sistemas jerárquicos de restricciones múltiples y mutuas es un concepto estructurante que permite comprender el funcionamiento de sistemas complejos como los seres vivos o la sociedad o el sistema cognitivo. Sin él no puede comprenderse cómo aparecen nuevas propiedades, nuevos niveles de organización. Puede ser vehiculado en distintos ejemplos (la célula, el organismo, la sociedad).

3.4. El concepto de autopoyesis

No queremos establecer la lista de conceptos estructurantes en biología, pero queremos indicar uno que a nuestro juicio es fundamental, y que se puede sintetizar así:

Todo organismo se construye a sí mismo en una serie de reacciones químicas en las que se sintetizan las moléculas que participan en ellas. Esas reacciones se realizan por una serie de condiciones que se logran gracias a todo el funcionamiento anterior (es decir gracias a las reacciones anteriores).

Esta simplificación de una de las teorías más abstractas de la biología, puede permitirnos desarrollar la idea que un ser vivo es un sistema circular, en el que el funcionamiento determina las condiciones que permiten la continuación del funcionamiento (hasta el momento en que esas condiciones no se dan y el organismo se muere). A partir de esta idea podremos observar nuestro propio organismo como un sistema que se construye a sí mismo, porque permanentemente hay reacciones químicas que nos reconstruyen. Podemos también extender esta noción al conocimiento, y pensar que no sólo construimos nuestras células, sino que construimos nuestras ideas, nuestros conocimientos.

El concepto estructurante de autopoyesis, puede ser vehiculado en el estudio de las células, de la genética, de la fisiología, o... del lenguaje (2).

Con este ejemplo queremos mostrar que los conceptos de una disciplina pueden ser muy útiles para las otras. La noción de autopoyesis es básica para la biología, la sociología, la historia, la economía, y en general todas las disciplinas que tratan con sistemas complejos.

4. LAS EXPERIENCIAS EN CLASE

En las estrategias pedagógicas que hemos mencionado

al comienzo, y en todo el desarrollo posterior sobre los conceptos estructurantes, hay una idea central «los conocimientos no se transmiten, se construyen». Un punto importante es cómo favorecer el cambio de actitud del alumno, cómo hacer que tenga una mayor valoración de su propia capacidad, y al mismo tiempo cómo hacer para que «aprenda a aprender», es decir, que sea capaz de organizar sus observaciones, definiendo qué es importante, cuáles de sus percepciones son útiles y cuáles son secundarias.

Esto coincide aparentemente con uno de los objetivos de la enseñanza de ciencias, el desarrollo de una «actitud científica». Sin embargo creemos que hay que modificar las estrategias utilizadas habitualmente en las clases de ciencias.

El método empleado habitualmente es el de la «experimentación en clase», que teóricamente permite «descubrir» ciertos fenómenos. La justificación es la siguiente: los alumnos aprenderán mejor, y al mismo tiempo comprenderán cómo funciona la ciencia y desarrollarán un método científico si realizan ciertas experiencias en las que «descubren» lo que se les quiere enseñar.

Lamentablemente esto es falso. Las experiencias en clase *no son similares* a las experiencias realizadas por los científicos. Aún en el caso que sean realmente realizadas por los alumnos, son *demonstraciones* y no experiencias científicas. Además los alumnos *saben* que el resultado es conocido por el profesor, y que en el mejor de los casos sus resultados coincidirán con lo que ya es muy conocido.

Un aspecto negativo de ese método es que da una idea falsa de la actividad científica y del método científico.

Eso no quiere decir que haya que eliminar las experiencias en clase, sino que hay que realizarlas aclarando que no son experiencias científicas sino actividades para facilitar el aprendizaje. Otro aspecto importante es quién las organiza. Creemos que en la medida de lo posible tienen que ser los propios alumnos los que decidan qué hacer y cómo hacerlo, para luego justificar la elección del tema y del método frente a los otros alumnos.

Es en esta discusión que el enseñante puede introducir las nociones de historia de ciencias que muestren cómo evolucionaron los métodos, cómo se trabaja actualmente, cuáles han sido los principales problemas a resolver.

Al mismo tiempo la historia de ciencias puede servir para mostrar que los conocimientos actuales no son resultado de la acumulación de resultados de experiencias científicas exitosas, sino un largo camino de discusiones, con trasfondos ideológicos y sociales.

Pero tal vez el aspecto más importante de este tipo de discusiones es introducir el análisis de las propias concepciones de los alumnos y de su medio. Un ejemplo concreto puede sernos útil.

5. INVESTIGACION EN CLASE SOBRE EL «SABER HACER» LOCAL

¿Hay que enseñar sólo la ciencia actual?

¿Por qué dejar de lado todos los conocimientos «no científicos», pero válidos, que ha construido la sociedad?

¿Cómo introducir esos conocimientos en clase al mismo tiempo que se enseña una ciencia?

Una experiencia pedagógica realizada en Togo por Madeleine Paccaud, ha mostrado que pueden analizarse los conocimientos tradicionales y al mismo tiempo aprender la biología.

La estrategia era muy simple, proponer que los alumnos entrevistaran a miembros de su familia y de su medio, sobre la fabricación casera de una bebida local (una especie de cerveza llamada *chucutá*), condensaran la información en clase, y luego la analizaran en función de los conocimientos científicos sobre la fermentación.

En una primera etapa la estrategia se aplicó en cursos de formación de profesores de biología, que luego la utilizaron en sus propios cursos. El resultado fue excelente, no sólo los alumnos estuvieron más interesados, sino que comenzaron a aceptar que su medio social había producido conocimientos correctos, porque demostraron que, más allá de los ritos mágicos con los que se iniciaban todas las operaciones, el método de fermentación era correcto.

Al mismo tiempo comenzaron una reflexión sobre las creencias que despreciaban, pero en las que aún creían.

Creemos que esta nueva estrategia pedagógica, en la que los alumnos investigan sus propias representaciones y las representaciones de su medio social y familiar, y las analizan desde el punto de vista del conocimiento científico puede ser una forma de evitar la desvalorización de la propia cultura, la pérdida de conocimientos que son correctos, y una forma de comenzar a cerrar la brecha entre la ciencia todopoderosa y la población que se siente incapaz de aprender.

6. CONOCIMIENTO Y RESPONSABILIDAD

Queremos señalar además que hay otros elementos que nos preocupan, y que creemos que se pueden solucionar con estrategias pedagógicas como las que proponemos. En particular creemos que un derecho fundamental es la posibilidad de conocer y de utilizar los conocimientos.

En un mundo donde los resultados de la ciencia también se utilizan para la destrucción, la escuela puede jugar un papel importante, al dar a la población la posibilidad de comprender que todo conocimiento es resultado de la actividad de toda la humanidad, y que es responsabilidad de todos controlar su utilización.

Una discusión sobre estos temas durante el transcurso de las clases de ciencia puede ser un «concepto estructurante» sobre la responsabilidad individual en el futuro de la sociedad.

Notas

1. Un ejemplo de restricción es el lenguaje: la palabra MATE puede significar una orden, un nivel de brillo, la finalización de una partida de ajedrez, una infusión, compañero (en inglés). En cada caso son las otras palabras de la frase las que determinan cuál de esas significaciones es utilizada por el que escucha.
2. Un pequeño paréntesis sobre el lenguaje: al hablar estamos usando un idioma construido por otros pero al mismo tiempo lo estamos reconstruyendo. Posiblemente no hay nadie que conozca el conjunto de palabras de un idioma, pero este no existe fuera de la gente que lo habla.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- HOFSTADTER, D.R., 1982, Can inspiration be mechanized? *Scientific American*, septiembre, p. 18.
- GAGLIARDI, R., 1984, Les concepts structurants en Biologie. *Actes des Cinquièmes Journées internationales sur l'Éducation Scientifique*, pp. 545-553.
- GIORDAN, A., 1984, Le sottisier: un outil didactique. *Actes des sixièmes journées internationales sur l'éducation scientifique*, pp. 801-812.
- MATURANA, M., y VARELA, F., 1980, Autopoiesis and cognition. *The realisation of the living* (D. Reidel Publishing Co. Boston).

BIBLIOGRAFIA

- GAGLIARDI, R., 1983, Acquisition du concept d'information génétique par les étudiants de biologie, *Actes des cinquièmes journées internationales sur l'éducation scientifique*, Paris, pp. 493-498.
- GAGLIARDI, R., 1983, Les concepts structurants en biologie, *Actes des cinquièmes journées internationales sur l'éducation scientifique*, Paris, pp. 545-550.
- GAGLIARDI, R., Histoire de la théorie de l'évolution, capítulo de *Histoire de la biologie*, coordinada por A. Giordan, ediciones Technique et Documentation-Lavoisier, en prensa.
- GAGLIARDI, R., *Histoire de la théorie de l'évolution*, ediciones Cahiers Maupertuis, en prensa.
- GAGLIARDI, R., 1985, Nuevos métodos y contenidos en la enseñanza de la ciencia: ejemplo de la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las ciencias*, Barcelona, Número especial, p. 37.
- GIORDAN, A., 1984, Le concept de fécondation au XIX^{ème} siècle, *Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, N° 10, Université de Paris-Sud (Orsay).
- GIORDAN, A., 1978, *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*, ediciones Le centurion/Formation, Paris.
- GIORDAN, A., 1984, Le sottisier: un outil didactique, *Actes des sixièmes journées internationales sur l'éducation scientifique*, 801-812.
- GUYON, J. y GAGLIARDI, R., Une stratégie pédagogique qui facilite l'appropriation personnelle du savoir scientifique. *Actes des huitièmes journées internationales sur l'éducation scientifique*, en prensa.
- HOFSTADTER, D., 1982, Can inspiration be mechanized?, *Scientific American*, p. 18.
- KUHN, T.S., 1983, *La structure des révolutions scientifiques*, ediciones Flammarion, Francia.
- MATERSKA, M., 1981, *Semantic memory structure and functioning - a genetic approach*. Varsovia, (non publié).
- MORIN, E., 1977, *La Méthode. 1. La Nature de la Nature*, ediciones du Seuil, Paris.
- MORIN, E., 1980, *Méthode. 2. La vie de la vie*, ediciones du Seuil, Paris.
- PATTEE, H.H., 1972, Laws and constraints, symbols and languages dans, *Towards a Theoretical Biology*, en IUBS symposium, édité par C.H. Waddington, Ediciones Edimburgo University Press, Edimburgo, tome 4, pag. 248.
- PATTEE, H.H., (éditeur), 1973, *Hierarchy theory - The Challenge of Complex Systems*, ediciones George Braziller, Nueva York.
- PATTEE, H.H., 1968, The physical basis of coding and reliability in biology, dans *Towards a Theoretical Biology*, en IUBS symposium, édité par C.H. Waddington, ediciones Edimburgo University Press, Edimburgo, tome 1, p. 67.
- PATTEE, H.H., 1970, The problem of biological hierarchy, dans *Towards a Theoretical Biology*, en IUBS symposium, édité par C.H. Waddington, ediciones Edimburgo University Press, Edimburgo, tome 3, p. 117.
- ROQUEPLO, PH., 1974, *Le partage du savoir: science, culture, vulgarisation*, ediciones du Seuil, Paris.
- ROSTAND, J., 1945, *Esquisse d'une histoire de la biologie*, Ediciones Gallimard, Francia.
- ROSTAND, J., 1951, *Les grandes courants de la biologie*, Ediciones Gallimard, Francia.
- RUMELHARD, G., Problèmes posés par le concept de gène dans l'enseignement. *ASTER - Recherches Pédagogiques*, N° 18, p. 1.
- RUSE, M., 1973, *La filosofía de la biología*, ediciones Alianza, España.
- VARELA, F.J., 1979, *Principles of Biological Autonomy*, ediciones North-Holland, Nueva York.
- WADDINGTON, C.H., 1968, The basic ideas of biology, dans *Towards a Theoretical Biology*, en IUBS Symposium, édité par C.H. Waddington, ediciones Edimburgo University Press, Edimburgo, p. 1-31.