

# CONCEPTOS EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA: IGNORADOS Y SUBESTIMADOS\*

Marco A. Moreira

Instituto Física. Universidad Federal do Rio Grande do Sul. Brasil

## RESUMEN

Este trabajo intenta destacar el papel clave de los conceptos en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y de las matemáticas. Inicialmente se presentan aportaciones de autores muy reconocidos en psicología y epistemología —Fodor, Toulmin, Mayr, Kuhn, Ausubel y Vergnaud— respecto a la relevancia de los conceptos en el pensamiento, en la comprensión humana, en el progreso científico y en el desarrollo cognitivo. En continuidad se discute la importancia de los conceptos en la educación científica, desde sus lugares comunes, es decir, enseñanza, aprendizaje, currículum y contexto.

PALABRAS CLAVE: conceptos, educación científica, currículum.

## ABSTRACT

This paper attempts to emphasize the key rol of concepts in the teaching and learning of science and mathematics. Initially, the contributions of well known authors from psychology and epistemology —Fodor, Toulmin, Mayr, Kuhn, Ausubel and Vergnaud— regarding the relevance of concepts in thinking, in human comprehension, in scientific progress, and in cognitive development are presented. Then the importance of concepts for science education, in terms of their commonplaces, that is, teaching, learning, curriculum, and context is discussed.

KEYWORDS: concepts, science education, curriculum.

## INTRODUCCIÓN

Los conceptos son importantes en el pensar, en el sentir y en el hacer, son fundamentales en la comprensión humana, en el desarrollo científico, en el desenvolvimiento cognitivo. Los conceptos son relevantes en todas partes. Nuestro mundo es un mundo de conceptos. Sin embargo, incomprensiblemente, la importancia de los conceptos es ignorada en la escuela, en especial en la educación científica. Los profesores de ciencias y matemáticas no dan atención a los conceptos, prefieren las fórmulas, los algoritmos, las reglas empíricas, las demostraciones y experimentaciones que siempre funcionan, las preguntas con respuestas predeterminadas.



Al revés, los conceptos son contruidos, o inventados, por los científicos y los matemáticos y sin ellos las ciencias y las matemáticas no existirían como campos de conocimientos. Son igualmente contruidos, o reconstruidos, por el sujeto que aprende. Decir eso no es simplemente usar una vez más la jerga constructivista. No importa si el discurso es constructivista, humanista o, incluso, comportamentalista<sup>1</sup>. La conceptualización es esencial para el desarrollo cognitivo, para la comprensión humana, así como para la convivencia humana.

Este trabajo es un ensayo sobre conceptos, un intento de llamar la atención de profesores y diseñadores de currículum hacia la relevancia de los conceptos en la educación científica. En ningún momento se intentará definir qué son los conceptos, lo que implicaría mucho más que un pequeño ensayo. Primeramente serán rescatadas posiciones teóricas de reconocidos autores sobre el tema de los conceptos y después se destacará el papel clave de algunos conceptos en la educación científica.

### FODOR: LOS CONCEPTOS COMO ÁTOMOS DEL PENSAMIENTO

Jerry Fodor (1999, p. 19) defiende la tesis de que los conceptos son particulares mentales, lo que implica que *tener* un concepto está constituido por tener un particular mental, y por ende excluir la tesis de que tener un concepto está constituido por tener rasgos o capacidades mentales. Su visión de la mente es representacional/computacional y argumenta que cuando se opta por esa visión se necesita una teoría de los conceptos.

Fodor se considera completamente comprometido (*op. cit.*, p. 13) con el programa tradicional de la ciencia cognitiva, es decir, los organismos superiores actúan a partir del contenido de sus estados mentales y éstos son representaciones; en efecto, son relaciones con representaciones mentales. Entonces, el objetivo científico de la psicología es comprender qué son las representaciones mentales y explicitar las leyes y los procesos causales que las subsumen (*ibíd.*)

Sin embargo, él cree que la teoría de los conceptos que sería el núcleo de una ciencia cognitiva no sería una que se ocupase del contenido y de la estructura de los conceptos sino una teoría atomista de los conceptos, con las siguientes características (*op. cit.*, pp. 46-52):

1. Los conceptos son particulares mentales; específicamente, satisfacen cualesquiera condiciones ontológicas que tienen que cumplir cosas que funcionan como causas y efectos mentales.
2. Los conceptos son categorías y se emplean, de manera rutinaria, como tales. Decir que los conceptos son categorías, es decir, que se aplican a cosas en el mundo; cosas en el mundo que «caen bajo ellos».

\* Fecha de entrada: 08/02/08. Fecha de aceptación: 29/02/08.

<sup>1</sup> La formación de conceptos, proceso típico de la adquisición de los primeros conceptos en la infancia es, quizás, mejor explicado en términos comportamentalistas que cognitivistas.

3. Los conceptos son los constituyentes de los pensamientos<sup>2</sup> y, en indefinidamente muchos casos, de ellos mismos. Las representaciones mentales heredan sus contenidos de los contenidos de sus constituyentes.
4. Un gran número de conceptos deben aprenderse.

La teoría de las representaciones mentales sostiene que hay conceptos que pertenecen a la base primitiva de la cual se construyen las representaciones mentales complejas. Esos primitivos conceptuales, en número finito, serían no aprendidos, es decir, innatos, y no serían muchos. Consecuentemente, la mayoría, infinitamente grande, de los conceptos serían aprendidos, o sea, contruidos.

Según la teoría de las representaciones mentales, los conceptos son símbolos; por ende satisfacen una relación instancia/tipo, de suerte que decir que dos personas comparten un concepto significa decir que tienen instancias del mismo tipo de concepto, literalmente.

Se puede también decir que como son símbolos, significan, arbitrariamente, alguna clase de situaciones, pero la arbitrariedad del significado depende de las personas que están de acuerdo con ese significado, es decir, lo comparten.

En síntesis, la visión de Fodor respecto a los conceptos es atomista. Es decir, los conceptos son los átomos del pensamiento, categorías que se aplican a las cosas del mundo, que deben ser aprendidas en su mayoría y que son compartidas por muchas personas.

### TOULMIN: LOS CONCEPTOS COMO CLAVE DE LA COMPRENSIÓN HUMANA

Para Stephen Toulmin, la clave de la comprensión humana está en los conceptos. Según él, en particular, para enfocar el elemento fundamental de la comprensión humana debemos preguntarnos (1977, p. 27):

Cuáles son las habilidades o tradiciones, las actividades, los procedimientos o los instrumentos de la vida intelectual y la imaginación del hombre —en una palabra, los conceptos— por los cuales se logra y se expresa tal comprensión humana.

Sin embargo, sólo podemos comprender con claridad la autoridad intelectual de nuestros conceptos si tenemos en cuenta los procesos socio-históricos por los cuales se desarrollan dentro de la vida de una cultura o una comunidad (*op. cit.*, p. 41).

Toulmin considera los conceptos como elementos que integran los agregados, sistemas o poblaciones conceptuales que emplean efectivamente las «comunidades de usuarios» de conceptos.

<sup>2</sup> Fodor usa pensamientos como su término encubridor para las representaciones mentales, las que, según la Teoría de las Representaciones Mentales, expresan proposiciones que son los objetos de las actitudes proposicionales (*op. cit.*, p. 48).



Cada uno de nosotros piensa por sus propios pensamientos; pero los conceptos los compartimos con nuestros semejantes. En efecto, de lo que creemos somos responsables como individuos; pero el lenguaje en que se articulan nuestras creencias son propiedad pública (p. 49).

En ciencias hay ciertos conceptos fundamentales que son, por así decir, constitutivos de las ciencias dentro de las cuales se los usa. Sin los conceptos de «rayo de luz» y de «inercia», la óptica geométrica y la dinámica desaparecerían (*op. cit.*, p. 84).

En palabras de Toulmin, para hacer justicia a la complejidad de los conceptos científicos debemos distinguir tres aspectos o elementos en el uso de tales conceptos: 1) el lenguaje; 2) las técnicas de representación, y 3) los procedimientos de aplicación de la ciencia. Los dos primeros elementos comprenden los aspectos simbólicos de la explicación científica, mientras el tercero comprende el reconocimiento de situaciones a las que son apropiadas esas actividades simbólicas. El elemento lingüístico incluye los sustantivos, los términos técnicos o nombres de conceptos y también proposiciones, sean leyes científicas o generalizaciones. La representación no sólo comprende el uso de formalismos matemáticos, sino también gráficos, diagramas, clasificaciones, etc. Sin embargo, tales elementos simbólicos sólo tienen sentido cuando se dispone de adecuados procedimientos de aplicación a situaciones (*op. cit.*, pp. 170-171). En suma, todo concepto científico tiene tres aspectos distinguibles (lenguaje, representación y aplicación). Las novedades conceptuales propuestas para hacer frente a problemas científicos pueden implicar cambios en cualquiera de esos aspectos o en todos ellos (*op. cit.*, p. 190).

Desde otra perspectiva, Toulmin considera otros tres aspectos de los conceptos: valor, desarrollo y captación. Los dos primeros tienen que ver con la autoridad intelectual de los conceptos, la que sólo podemos comprender si tenemos en cuenta los procesos socio-históricos por los cuales se desarrollan dentro de una cultura o una comunidad. El tercero se refiere a las habilidades y capacidades mediante las cuales un individuo despliega su captación personal de los conceptos, así como los esquemas de sucesos por los cuales se adquieren, se ejercen y se pierden tales capacidades conceptuales.

Adquirimos nuestro dominio del lenguaje y el pensamiento conceptual en el curso de la educación y el desarrollo; y los conjuntos particulares de conceptos que aprendemos reflejan formas de vida y de pensamiento, comprensión y expresión, corrientes en nuestra sociedad... (sin embargo), nuestra herencia conceptual es recreada en cada nueva generación mediante todos los procesos de «enculturación», sea por imitación o interacción, sea por instrucción o educación formal (*op. cit.*, p. 53).

En vez de especular sobre una dirección universal e irreversible del desarrollo conceptual, Toulmin trata meramente de mostrar cómo el proceso de «la variación y la perpetuación selectiva» ayuda a explicar las transformaciones de las poblaciones conceptuales (*op. cit.*, p. 340).

Para él, lo que necesitamos es una explicación del desarrollo conceptual que pueda dar cuenta de los cambios de cierta profundidad, pero que explique igual-

mente el cambio gradual y el cambio drástico como resultados alternativos de los mismos factores que operan de diferentes maneras. En lugar de una explicación revolucionaria del cambio conceptual que se proponga mostrar cómo se suceden «sistemas conceptuales» enteros unos a otros, lo que necesitamos es, por consiguiente, construir una explicación *evolutiva* que muestre cómo se transforman progresivamente las «poblaciones conceptuales».

## MAYR: LOS CONCEPTOS COMO CLAVE DEL PROGRESO CIENTÍFICO

Ernst Mayr (1904-2005), conocido biólogo evolucionista, considera que es la introducción de nuevos conceptos, o el mejoramiento de los que ya existen, la verdadera clave del progreso científico, no los descubrimientos o las revoluciones científicas.

Estoy plenamente convencido de que no es posible entender el crecimiento del pensamiento biológico sin una comprensión de la estructura conceptual de la Biología (1998, p. 23).

Mayr argumenta que el descubrimiento de hechos nuevos es fácilmente divulgable y por eso los medios de comunicación vehiculizan una imagen de la ciencia asociada a nuevos descubrimientos. Ese tipo de divulgación contribuye a la construcción de representaciones sociales de la ciencia que no se corresponden con la actividad científica. Pensar la ciencia meramente como una acumulación de descubrimientos o representarla así socialmente es una equivocación. Para él, muchos de los mayores progresos científicos se deben a la introducción de nuevos conceptos, o a la mejora de los conceptos existentes (*op. cit.*, p. 39):

Nuestra comprensión del mundo es alcanzada más efectivamente por el perfeccionamiento de los conceptos que por el descubrimiento de hechos nuevos, aunque los dos aspectos no sean mutuamente excluyentes (*ibíd.*).

Como ejemplo, Mayr argumenta (*op. cit.*, p. 40) que los fenómenos que hoy son explicados por la selección natural fueron largamente conocidos mucho antes de Darwin, pero no hacían ningún sentido, hasta que fuera introducido el concepto de poblaciones, consistentes de individuos únicos. Desde ese momento, la selección natural ha adquirido un gran poder explicativo. Y agrega (*ibíd.*):

En la Biología Evolutiva, conceptos como evolución, descendencia común, especiación geográfica, mecanismos de aislamiento, o selección natural han conducido a una reorientación drástica en un área de la Biología anteriormente confusa, así como a una nueva formación teórica y a incontables nuevas investigaciones. No están lejos de la verdad aquellos que insisten que el progreso de la ciencia consiste principalmente en el progreso de los conceptos científicos.

A Mayr le parece muy raro que la filosofía de la ciencia haya dado tan poca atención a la importancia avasalladora de los conceptos e insiste en que el progreso científico consiste en el desarrollo de nuevos conceptos y en el perfeccionamiento de las definiciones a través de las cuales esos conceptos son articulados (*op. cit.*, p. 61).

Aunque se pueda argumentar que la relación leyes *versus* conceptos no pasa de una distinción formal, dado que todo concepto puede ser traducido en una o diversas leyes, para él falta a las leyes la flexibilidad y el aprovechamiento heurístico de los conceptos. Los biólogos, por ejemplo, en vez de formular leyes, usualmente organizan sus generalizaciones en estructuras conceptuales (*op. cit.*, p. 60)

Refiriéndose a las revoluciones científicas de Thomas Kuhn, Mayr dice que, por lo menos en parte, dichas revoluciones se han caracterizado por grandes cambios, y por grandes dificultades, en el interior de una ciencia cuando un concepto verdaderamente nuevo es introducido.

### THOMAS KUHN: LOS CONCEPTOS COMO CLAVE DE LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS

Thomas Kuhn, posiblemente el filósofo de la ciencia más conocido, publicó en 1962 una obra fundamental —*The structure of scientific revolutions*— en la que ha utilizado conceptos como *paradigma e incommensurabilidad*, así como el propio concepto de *revolución científica* (1971), que le han generado mucha fama y muchas críticas por la polisemia de los significados con que los ha utilizado. Mientras se defendía de esas críticas en libros y artículos posteriores a su obra principal, su discurso ha sufrido un progresivo desplazamiento hacia el papel del lenguaje, y en particular de los conceptos (o «términos» como decía él) en el análisis del progreso de la ciencia.

Por ejemplo, consideremos la física aristotélica y la física newtoniana, en palabras de Kuhn (1989, p. 64):

Quando el término «movimiento» aparece en la física aristotélica, se refiere al cambio en general, no sólo al cambio de posición de un cuerpo físico. El cambio de posición, que es objeto exclusivo de la mecánica para Galileo y Newton, es para Aristóteles sólo una de las varias subcategorías del movimiento. Otras incluyen el crecimiento (la transformación de una bellota en un roble), las alteraciones de intensidad (el calentamiento de una barra de hierro) y varios cambios cualitativos más generales (la transición de la enfermedad para la salud).

La posición, así como la humedad, la calidez, el calor, etc., eran, para Aristóteles, cualidades de un objeto. Consecuentemente el movimiento era para él un cambio de cualidad o cambio de estado, en lugar de ser un estado como lo era para Newton. Es decir, la gran diferencia es el concepto de *movimiento como cambio de estado*, o de cualidad, vs. el concepto de *movimiento como estado*.

Kuhn (*op. cit.*, p. 89) presenta otros ejemplos:

Los cambios revolucionarios... ponen en juego descubrimientos que no pueden acomodarse dentro de los conceptos que eran habituales antes de que se hicieran

dichos descubrimientos. El descubrimiento (en casos como éstos «invención» puede ser una palabra mejor) de la segunda ley del movimiento de Newton es de esa clase. Los conceptos de fuerza y masa que figuran en esa ley difieren de los que eran habituales antes de la introducción de la ley, y la ley misma fue esencial para su definición. Un segundo ejemplo más completo, aunque más simplista, nos lo proporciona la transición de la astronomía ptolemaica a la copernicana. Antes que esa transición tuviera lugar, el Sol y la Luna eran planetas, pero la Tierra no. Después la Tierra era un planeta como Marte y Júpiter; el Sol era una estrella; y la Luna un tipo nuevo de cuerpo, un satélite.

Según Kuhn, cambios de esta clase no fueron simplemente correcciones de errores individuales englobados en las teorías anteriores. Fueron cambios de vocabulario, de conceptos, de lenguaje. Entra ahí el concepto de incommensurabilidad de las teorías: dos teorías son incommensurables cuando es imposible definir todos los términos (es decir, conceptos) de una en el vocabulario de la otra. Incommensurabilidad no implica incomparabilidad, sino que hay un subgrupo de términos (conceptos) y enunciados que los contienen que hacen que no exista un lenguaje común, neutral, en el que ambas teorías, concebidas como conjuntos de enunciados, puedan ser traducidas sin resto o pérdida (*op. cit.*, p. 99).

Otro ejemplo está en la transición revolucionaria entre la mecánica clásica y la mecánica cuántica. Antes del concepto de *cuanto de energía*, o simplemente *cuanto*, el problema de la radiación del cuerpo negro (el problema de explicar cómo cambia el color de un cuerpo con la temperatura al calentarlo) era estudiado, sin éxito, en términos de *elementos de energía y de resonadores* (diminutos diapasones sensibles a la radiación de una frecuencia y no a la de otras). Sin embargo, el *cuanto de energía* no era un elemento infinitesimal de energía, sino un elemento separable, una entidad similar a un átomo que podía existir por sí misma. Este concepto resolvía el problema de que los resonadores no cambiaban su energía de forma continua, como se esperaba dentro de una analogía acústica, sino mediante saltos discontinuos de un cierto tamaño o un múltiplo entero de ellos. Pero entonces las entidades introducidas como resonadores ahora se convirtieron en *osciladores*, un término (concepto) neutral que se refiere a cualquier entidad que vibra regularmente, en contraste a resonadores, que se refieren en primer lugar a entidades acústicas (*op. cit.*, p. 85).

Las transiciones de una forma aristotélica de comprender el movimiento a una newtoniana, de la astronomía ptolemaica a la copernicana y de la explicación de la radiación del cuerpo negro de elementos de energía y resonadores a cuantos de energía y osciladores constituyen ejemplos de desarrollo científico en una modalidad no acumulativa que Kuhn llamó inicialmente revoluciones científicas y posteriormente pasó a explicarlos en términos de lenguaje (y conceptos):

Si tengo razón, la característica esencial de las revoluciones científicas es su alteración del conocimiento de la naturaleza intrínseco al lenguaje mismo. Para introducir en la ciencia el vacío o el movimiento lineal infinito se requerían informes observacionales que sólo podían formularse alterando el lenguaje con el que se describía la naturaleza... Considero que lo que indujo a Planck a cambiar «elemento» y «resonador» por «cuanto» y «oscilador» fue esta resistencia opuesta por el

lenguaje. La violación o distorsión de un lenguaje científico que previamente no era problemático es la piedra de toque de un cambio revolucionario (pp. 92-93).

Aunque Kuhn hable de cambio de lenguaje, o cambio de vocabulario, sus argumentos están claramente basados en conceptos. Lo que caracterizaría a las revoluciones científicas sería entonces un cambio de conceptos-clave, tal como propone Mayr para la Biología.

#### AUSUBEL: EL HOMBRE VIVE EN UN MUNDO DE CONCEPTOS

David Ausubel es muy conocido por su teoría del aprendizaje significativo, o teoría de la asimilación como él la identifica (1983; Moreira, 2000); sin embargo, en esa teoría los conceptos son fundamentales:

Los conceptos constituyen un aspecto importante de la teoría de la asimilación debido a que la comprensión y la resolución significativa de problemas dependen en gran parte de la disponibilidad en la estructura cognoscitiva del alumno tanto de conceptos supraordinados (en la adquisición inclusiva de conceptos) como de conceptos subordinados (en la adquisición supraordinada de conceptos) (1983, p. 86).

Para Ausubel la variable más importante para la adquisición significativa de nuevos conocimientos es el conocimiento previo del sujeto que aprende y en ese conocimiento los conceptos constituyen el ingrediente más relevante. ¡Más que eso! Para él vivimos en un mundo de conceptos:

Quiquiera que se detenga lo suficiente para concederle al problema algún pensamiento serio no podrá eludir la conclusión de que el hombre vive en un mundo de conceptos en lugar de objetos, acontecimientos y situaciones. La realidad que experimenta psicológicamente se relaciona sólo de modo indirecto con las propiedades físicas de su ambiente y con sus correlatos sensoriales. La realidad, hablando en sentido figurado, se percibe a través de un filtro conceptual (1983, p. 87).

Para él, nuestra percepción depende de los conceptos cuyos significados captamos e internalizamos significativamente:

Es también obvio que: los seres humanos interpretan experiencias perceptuales «en crudo» en función de los conceptos particulares de sus estructuras cognoscitivas, y que los conceptos constituyen la base tanto del aprendizaje de proposiciones por recepción significativa como de la generación de proposiciones relativas a la resolución significativa de problemas (*op. cit.*, p. 86).

Naturalmente, decir que vivimos en un mundo de conceptos y que nuestras percepciones dependen de los conceptos que ya tenemos en nuestra estructura cognoscitiva no significa que disfruten de existencia real en el mundo físico. Sin embargo, en términos psicológicos:

los conceptos son reales en el sentido que: a) pueden ser adquiridos, percibidos, entendidos y manipulados como si disfrutaran de existencia independiente por su propio derecho, y b) son percibidos y comprendidos tanto denotativamente como en razón de sus funciones sintácticas, casi la misma manera de una cultura o otra; por ejemplo, el término cultura es, en sí, una abstracción (concepto) que no posee existencia independiente, sino que consiste meramente en actitudes modales, formas peculiares de pensar y maneras características de institucionalizar las relaciones interpersonales dentro de una sociedad en particular (*op. cit.*, p. 89).

Ausubel distingue entre *formación de conceptos*, típica de la niñez, que es un proceso de adquisición espontánea (sin guía) e inductiva de ideas genéricas (por ejemplo, casa, perro...) basada en experiencias empírico-concretas, y *asimilación de conceptos*, proceso que ocurre cuando los atributos de criterio del concepto se presentan, por definición o con base en el contexto, y luego se relacionan directamente con la estructura cognitiva del sujeto.

No obstante, la asimilación de conceptos se caracteriza por un proceso activo de relación, diferenciación e integración con los conceptos pertinentes que ya existan. Cuanto más activo sea este proceso, tanto más significativos y útiles serán los conceptos asimilados (*op. cit.*, p. 96).

#### VERGNAUD: LOS CONCEPTOS COMO NÚCLEO DEL DESARROLLO COGNITIVO

Gérard Vergnaud, proponente de la teoría de los campos conceptuales (Vergnaud, 1990; Moreira, 2002), discípulo de Piaget, argumenta, a diferencia de su maestro, que el núcleo del desarrollo cognitivo es la conceptualización; es ella la piedra angular de la cognición. Consecuentemente, se debe prestar toda la atención a los aspectos conceptuales de los esquemas y el análisis conceptual de las situaciones para las cuales los sujetos que aprenden desarrollan sus esquemas.

Para Vergnaud (*op. cit.*) un concepto es definido por un triplete  $C = (S, I, R)$  de conjuntos donde:

- S es un conjunto de situaciones que dan sentido al concepto; este conjunto es el *referente* del concepto;
- I es un conjunto de invariantes (objetos, propiedades y relaciones) sobre los cuales reposa la operacionalidad del concepto; es su *significado*;
- R es un conjunto de representaciones simbólicas (lenguaje natural, gráficos y diagramas, sentencias formales, etc.) que pueden ser usadas para representar esos invariantes; es su *significante*.

En términos psicológicos, S es la realidad e (I, R) la representación, que puede ser considerada como dos aspectos interactuantes de pensamiento, el significado y el significante.

Para estudiar el desarrollo y el uso de un concepto, a lo largo del aprendizaje, es necesario considerar siempre los tres conjuntos, casi simultáneamente. Sin





embargo, hay que tener en cuenta que son las situaciones las que dan sentido al concepto. Es muy difícil, si no imposible, empezar la conceptualización a través del significante como parecen creer los profesores que presentan primeramente la definición del concepto, sus atributos, su representación escalar o vectorial y después pasan a los ejemplos y aplicaciones. El resultado es, en general, aprendizaje mecánico, pues los alumnos internalizan informaciones sin sentido.

Por otro lado, no basta presentar una sola situación o un solo tipo de situación: un concepto no se refiere a una sola situación y una situación no puede ser analizada con un concepto solo. La conceptualización depende de diferentes situaciones en distintos niveles de complejidad. Es un proceso de mucho aliento que puede extenderse por muchos años.

### CONCEPTOS EN LA ENSEÑANZA: HACIA UN APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE LAS CIENCIAS

Compartimos totalmente las premisas anteriores: los conceptos pueden ser pensados como los átomos de nuestro pensamiento (Fodor, 1999), como clave de la comprensión humana (Toulmin, 1997), del progreso científico (Mayr, 1998), de las revoluciones científicas (Kuhn, 1989), del desarrollo cognitivo (Vergnaud, 1990), en fin vivimos en un mundo de conceptos (Ausubel, 1983).

Consecuentemente, los conceptos deben también ser clave en la enseñanza, en el aprendizaje y en el currículum. Las disciplinas, o las asignaturas como son llamadas en la escuela, no existen sin los conceptos (i.e., las poblaciones de conceptos en evolución que los constituyen), el aprendizaje significativo no ocurre sin la construcción (o reconstrucción interna como diría Vygotsky) de conceptos, o sin la conceptualización como defiende Vergnaud, y el currículum no tiene sentido si no incluye la adquisición significativa de conceptos entre sus resultados pretendidos de aprendizaje (los *Intended Learning Outcomes* de Mauritz Johnson, 1967).

En la figura 1 se presenta un modelo para organizar la enseñanza bajo esta perspectiva conceptual, teniendo en cuenta algunos principios de la teoría ausubeliana del aprendizaje significativo (Ausubel, 2000; Moreira, 2000, 2006). Dicho modelo es autoexplicativo.

La identificación de la *estructura conceptual del contenido* que va a ser enseñado está ejemplificada para el caso del electromagnetismo: la figura 2 es un mapa conceptual para ese contenido en el nivel universitario introductorio. En ese mapa los conceptos jerárquicamente superiores están en mayúsculas dentro de rectángulos, los de nivel intermedio están también en mayúsculas pero un poco más abajo insertos en elipses, los menos generales (tercer nivel) están en minúsculas sin ninguna figura a su alrededor. Antes de proseguir hay que aclarar que éste no es *el* mapa conceptual para dicho contenido, es *un* mapa según la percepción y conocimientos previos del autor. Además de eso, en otro contenido involucrando los mismos conceptos, como electrónica básica, por ejemplo, la jerarquía conceptual podría ser otra; corriente eléctrica y potencia eléctrica, por ejemplo, podrían estar más arriba en esa jerarquía.

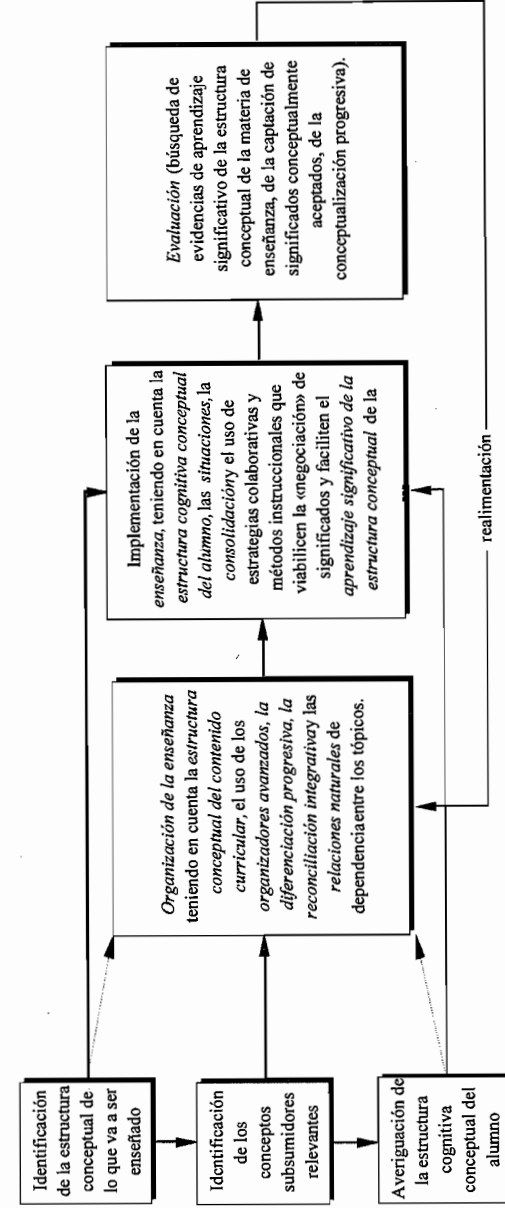


Figura 1. Un modelo para organizar, implementar y evaluar la enseñanza desde una perspectiva en la que los conceptos tienen un papel central.



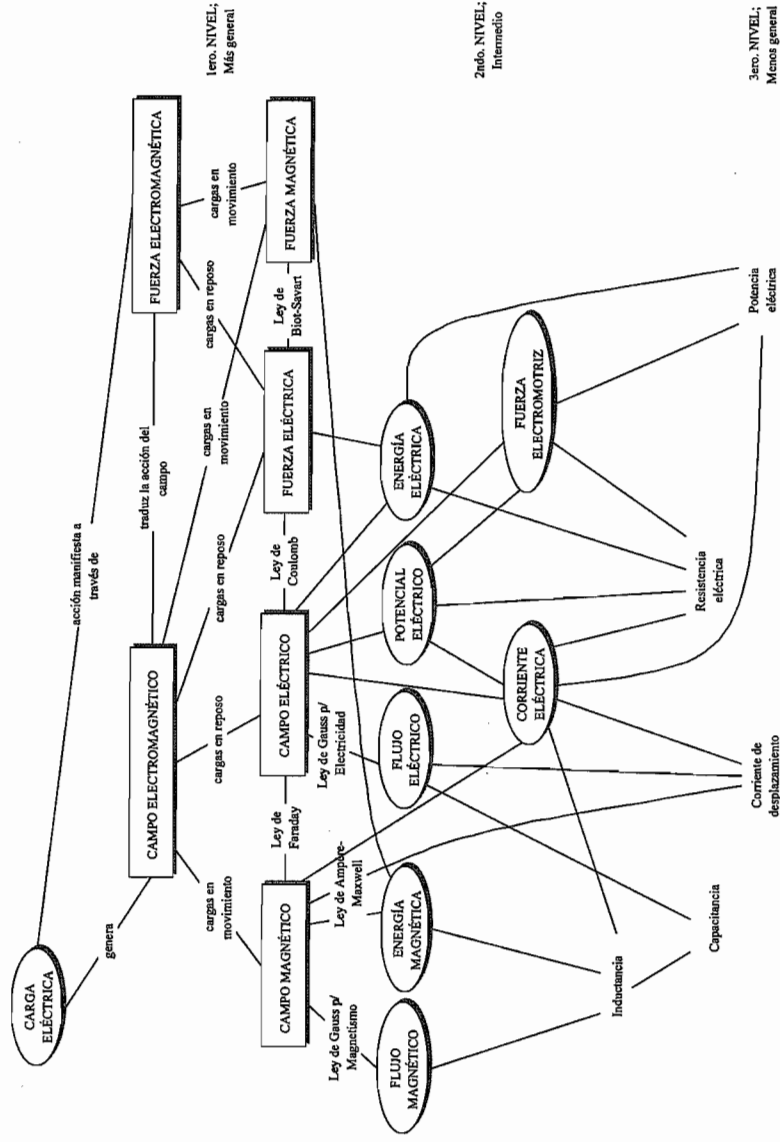


Figura 2. Un ejemplo de mapeamiento conceptual del contenido de electromagnetismo con fines instruccionales.

Obsérvese que en el mapeamiento conceptual presentado en la figura 2 las proposiciones-clave, i.e., las leyes aparecen conectando los conceptos dado que el énfasis está en los conceptos. Se percibe también que los conceptos de *campo electromagnético* y *fuerza electromagnética* son jerárquicamente superiores a los de *campo eléctrico*, *campo magnético*, *fuerza eléctrica* y *fuerza magnética*. Es decir, el concepto de *electromagnetismo* es jerárquicamente superior al de *electricidad* y al de *magnetismo*. Normalmente eso no se tiene en cuenta en la enseñanza de la Física y los alumnos salen del curso de electromagnetismo pensando como si electricidad y magnetismo fueran dos campos conceptuales distintos cuando, en realidad, son dos caras de la misma moneda, el electromagnetismo. Si las cargas están en reposo no se manifiesta la componente magnética; si están en movimiento, sí.

Este mapeamiento indica claramente al profesor que, según el principio de la *diferenciación progresiva*, el planteamiento del contenido curricular debe empezar por situaciones electromagnéticas, es decir, situaciones que den sentido a los conceptos de campo y fuerza electromagnéticos, los cuales deberán ser progresivamente diferenciados al mismo tiempo que deberán ser permanentemente integrados, de acuerdo con el principio de la *reconciliación integradora*. No es lo que pasa en los cursos introductorios de electromagnetismo: se empieza con la electrostática, se pasa a la electrodinámica, después a la magnetostática, siguiendo con la inducción electromagnética y finalmente a una supuesta integración con las ecuaciones de Maxwell, que son las leyes generales del electromagnetismo. El resultado es normalmente aprendizaje mecánico y separación de electricidad y magnetismo. Es decir, el alumno no construye el concepto de electromagnetismo.

Los mapas conceptuales pueden ayudar también en la averiguación de la estructura cognitiva conceptual del alumno, tal como está ilustrado en la figura 3. El mapa conceptual presentado en esa figura fue hecho por un alumno de licenciatura en Física antes de iniciar un curso introductorio de Física. Se percibe que el estudiante ya tenía algún conocimiento previo del contenido. Los conceptos más importantes en su opinión eran *campo*, *eléctrico* y *magnético*, sin embargo, los presentó sin conexión: relacionó (campo) *eléctrico* con *electrones* y (campo) *magnético* con *cargas*, una separación que no tiene sentido en Física. Un profesor de Física podría sacar más evidencias del conocimiento previo del alumno analizando su mapa conceptual, y mucho más si pidiera a él o ella que lo explicase oralmente o por escrito. No obstante, el mapa conceptual es solamente una estrategia con buen potencial para tener informaciones sobre la estructura cognitiva conceptual de quien aprende. Otras estrategias pueden también dar evidencias del conocimiento previo del alumno. (El clásico pretest de elección múltiple, en general, da evidencias de aprendizaje mecánico.) En la práctica, no es un problema difícil averiguar los conceptos subsumidores del estudiante. Cualquier profesor experimentado después de algunas clases sabe «dónde están sus alumnos», lo difícil es tenerlo en cuenta en la enseñanza. Sin embargo, eso es imprescindible si su objetivo es la facilitación de un aprendizaje significativo de los conceptos que se propone enseñar.

## SIGNIFICADOS: LA NEGOCIACIÓN ES IMPORTANTE

Los conceptos tienen significados denotativos y connotativos. Los primeros son atribuidos, en general arbitrariamente, por una comunidad de usuarios que los comparte. Los segundos son personales, idiosincrásicos, no compartidos.

Además de significados, los conceptos tienen nombres, de modo que, tal como los objetos o los eventos particulares, pueden ser manipulados y comprendidos. Estos nombres se adquieren a través del aprendizaje significativo de representaciones una vez que sus significados se han adquirido (Ausubel, 1983).

Las dos cosas, los significados y los nombres, dificultan la conceptualización. El nombre de un concepto puede variar de una cultura a otra, de una comunidad a otra, de una lengua a otra. Por ejemplo, el concepto al cual le damos el nombre de *trabajo* en la Física en inglés es *work*. Por otro lado, el significado de trabajo en la vida cotidiana no es el mismo que el de trabajo en Física. En ese caso el nombre es el mismo pero los significados son otros. Incluso dentro de la misma Física un mismo nombre puede corresponder a significados, o conceptos, distintos. Color, por ejemplo, en la Óptica Física corresponde a una cierta frecuencia de la radiación electromagnética, en la Física de Partículas Elementales es una propiedad de la materia. Decir que los *quarks* tienen color no tiene nada que ver con color en la Óptica.

Eso quiere decir que los significados están en las personas, no en las palabras. Las palabras significan lo que las personas, científicos, otros profesionales o, simplemente, ciudadanos se ponen de acuerdo en lo que significan.

Aún más, los significados tienen «dirección»: cuando los referentes son claros, estables, poco abstractos, la dirección del significado es extensiva, es decir, hacia fuera del sujeto; en ese caso es más fácil compartirlo. Cuando el referente es poco consensuado como, por ejemplo, justicia y derechos humanos, la dirección del significado es intensiva, o sea, hacia adentro del sujeto, más personal y menos compartida.

Por todo eso, la interacción personal vygotskyana o la relación triádica de Gowin (1981) es fundamental en la enseñanza. Gowin propone el modelo de enseñanza presentado en la figura 4.

Desde una perspectiva conceptual, en ese modelo el profesor presenta (no en el sentido de transmitir, sino en el de mediar) al alumno, a través de los materiales educativos del currículum, los significados conceptuales aceptados en el contexto de la materia de enseñanza. El alumno debe «devolver» al profesor los significados que va captando. Es un proceso de «negociación» que puede ser más o menos largo y que se consuma cuando alumno y profesor comparten significados. El profesor debe asegurarse de que los significados que el alumno capta son aquellos aceptados en el contexto de la materia de enseñanza. Solamente cuando ocurre este compartir significados se puede decir que hubo enseñanza. Además del contexto de la materia de enseñanza, la relación triádica de Gowin ocurre dentro de un contexto socio-histórico-cultural.

En una óptica contemporánea, habría que tener en cuenta que las modernas tecnologías de información y comunicación tienen un gran potencial para viabilizar y estimular la negociación de significados entre alumno y profesor. Sin embargo, actividades colaborativas presenciales como, por ejemplo, hacer mapas conceptuales

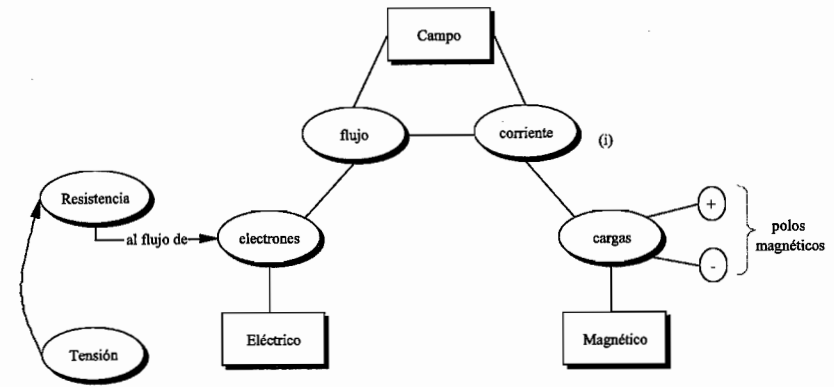


Figura 3. Mapa conceptual hecho por un estudiante de Física antes del curso de electromagnetismo básico.

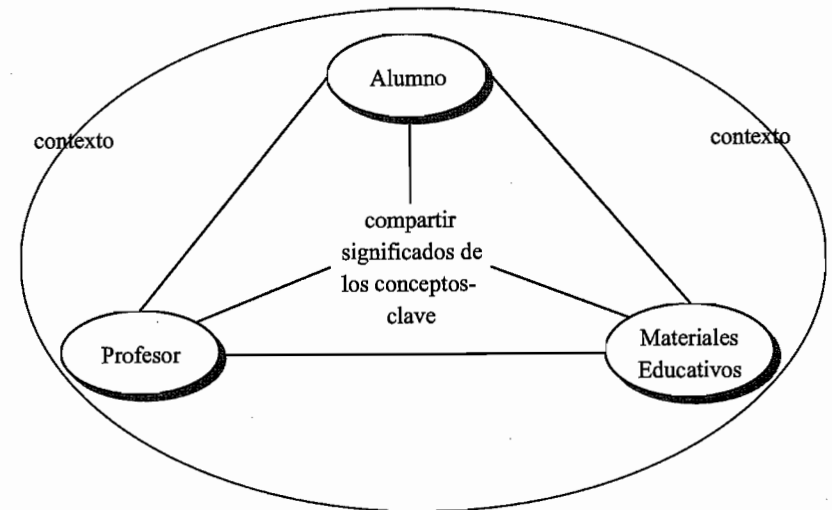


Figura 4. El modelo de enseñanza original de Gowin (1981).



en pequeños grupos y después presentarlos y discutirlos en grande grupo, son también muy adecuadas para promover la interacción personal y la «negociación» de significados (no es exactamente lo mismo que intercambio de significados, dado que el objetivo es compartir significados y para eso hay que «negociar»).

De hecho, no importa si la enseñanza es a distancia o presencial, lo que sí importa es la relación triádica interactiva *alumno—profesor—materiales educativos*. (El ordenador aparentemente está en los materiales educativos, pero hay que pensar si la relación ya no debería ser entre cuatro elementos, o sea, *alumno—ordenador—profesor—materiales educativos*.)

## SITUACIONES: LAS QUE DAN SENTIDO A LOS CONCEPTOS

Retomando a Vergnaud (1990; Moreira, 2002) y teniendo en cuenta la diferenciación progresiva de Ausubel (2000; Moreira, 2006), hay que empezar la enseñanza de un concepto, como campo electromagnético, por ejemplo, con situaciones problemáticas abarcoradoras, generales, que empiezan a dar sentido al concepto para los alumnos. Empezar a enseñar el concepto de campo electromagnético con una definición y con representaciones matemáticas (e.g., los vectores  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$ ) es el primer paso para el aprendizaje mecánico.

Un concepto es definido por el referente (las situaciones que le dan sentido), el significado (su operacionalidad) y el significante (su representación). Hay una relación dialéctica entre conceptos y situaciones: son éstas las que dan sentido a los conceptos y deben ser presentadas en distintos niveles de complejidad, pero a medida que ocurre la conceptualización, el sujeto va dando cuenta de más y más situaciones (o va dominando el campo conceptual por ellas constituido), lo que, a su vez, refuerza la conceptualización.

Volviendo al concepto de *campo*, el profesor podría proponer inicialmente situaciones generales como, por ejemplo, suponer que fuera posible medir la temperatura en cada punto del salón de clases y se obtuviese un número distinto para cada uno, o suponer que fuera posible medir la velocidad de partículas de agua en un río desde el centro hacia las márgenes y se obtuviesen valores distintos no para cada punto, sino para cada línea imaginaria paralela a las márgenes. ¿Qué pasa en cada caso, cómo se podría resolver cada situación? (El alumno debe percibir la situación como problemática.) Se podría decir que en cada caso hay un *campo*, en el primero un campo de temperaturas y en el segundo un campo de velocidades; en el primer caso, el campo es escalar porque el valor de la temperatura en cada punto no depende de dirección y sentido; en el segundo, el campo es vectorial porque el valor numérico de la velocidad depende de la distancia del centro del río y las márgenes. Se podría decir que siempre que en una cierta región del espacio hay una magnitud que varía de punto a punto hay un campo en esa región. Sin embargo, puede haber regiones en las que la intensidad del campo no varía. Es decir, de situación en situación ser iría construyendo el concepto general de campo y el concepto particular de campo electromagnético.

Campo es un concepto central en Física, pero son las situaciones, no las fórmulas, las que le van a dar sentido para los alumnos. Análogamente, *evolución* es

un concepto central en Biología y son situaciones del campo conceptual de la Biología las que van a permitir que los alumnos den sentido a ese concepto.

Cada campo conceptual tiene sus conceptos constituyentes; las asignaturas del currículum no existen sin determinados conceptos. Y serán siempre las situaciones los referentes o elementos básicos que van a dar sentido a esos conceptos. Sentido y significado no son la misma cosa, el significado es la parte estable del sentido. Los significados de un concepto deben ser «negociados» y compartidos, pero antes el concepto debe tener sentido para el aprendiz.

## CONCLUSIÓN

Este trabajo es un intento de destacar el papel clave de los conceptos en la educación científica. Para eso, inicialmente se presentaron las contribuciones de reconocidos psicólogos de la educación y filósofos de la ciencia —Fodor, Ausubel, Vergnaud, Toulmin, Mayr y Kuhn— respecto a la centralidad de los conceptos en el pensamiento y la comprensión humanos, en el desarrollo cognitivo y en el progreso científico.

Posteriormente, teniendo en cuenta dichas aportaciones, se pasó a discutir la importancia de los conceptos en el proceso enseñanza/aprendizaje y en el currículum, considerándolos como integrantes de la educación científica en un determinado contexto. Se propuso un modelo para organizar, implementar y evaluar la enseñanza desde una perspectiva en la que los conceptos tienen el papel central anteriormente destacado. Como ejemplo se tomó el caso del electromagnetismo introductorio. Sin embargo, la propuesta es válida para otros campos conceptuales de la Física, de la Biología, de la Química o de las Matemáticas. De hecho, los conceptos son centrales en cualquier campo de conocimientos y todo lo que se ha dicho y propuesto sobre conceptos se aplica a cualquier asignatura del currículum escolar.

Por último, quizás valga la pena aclarar una *misconception*: muchas veces se utiliza el término conceptual, e.g., Física conceptual, para una enseñanza sin fórmulas, sin matemática, pero en la cual los alumnos siguen memorizando mecánicamente definiciones, leyes, «descubrimientos» científicos y el infalible «método científico». ¡Nada de eso! Una enseñanza conceptual en la óptica de este trabajo es aquella en que los conceptos son el aspecto más importante, en que la conceptualización es el objetivo mayor, teniendo siempre en cuenta que los conceptos tienen *referente*, *significado* y *significante*. En un enfoque conceptual desde esa perspectiva no está prohibido usar fórmulas y otras representaciones matemáticas, pero el núcleo de todo está en los conceptos.

Los conceptos son los grandes olvidados y subestimados en la educación científica. Sin embargo, hay que revertir esa situación tanto en una educación científica para la ciudadanía como en la preparación de futuros científicos. Los conceptos son más importantes que las fórmulas matemáticas, que los «problemas» de papel y lápiz que no son más que ejercicios mecánicos, que los experimentos que siempre «dan cierto», que los «descubrimientos» que ya estaban previstos teóricamente, que el «método científico» como una receta infalible, y tantos otros lugares

comunes de la enseñanza tradicional de las ciencias. Sabemos que poco, o nada de eso, queda en los alumnos después que se ven libres de las clases de ciencias. ¿Por qué entonces no dar más atención a los átomos del pensamiento, a los elementos por los cuales se logra y se expresa la comprensión humana, a las verdaderas razones de las revoluciones científicas, a los constituyentes del mundo en que vivimos, al proceso que es la piedra angular del desarrollo cognitivo, es decir, a los conceptos y la conceptualización?

## BIBLIOGRAFÍA

- AUSUBEL, D., NOVAK, J. y HANESIAN, H. (1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. 2da ed. México: Editorial Trillas. 623p. Traducción al español del original *Educational psychology: a cognitive view*, New York, Holt Rinehart and Winston, 1978.
- AUSUBEL, D.P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 212p.
- FODOR, J.A. (1999). *Conceptos. Donde la ciencia cognitiva se equivocó*. Barcelona: Editorial Gedisa. 236p. Traducción al español del original *Concepts. Where cognitive science went wrong* (1998). Oxford: Clarendon Press.
- GOWIN, D.B. (1981). *Educating*. Ithaca, NY: Cornell University Press. 210p.
- JOHNSON, M. (1967). «Definitions and models in curriculum theory». *Educational Theory*, 17(2): 127-140.
- KUHN, S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México, FCE, 319p. Traducción del original *The structure of scientific revolutions*, Chicago, The University of Chicago Press, 1962.
- (1989). «¿Qué son las revoluciones científicas y otros ensayos?». Barcelona, Paidós e ICE de la UAB. 150p.
- MOREIRA, M.A. (2000). *Aprendizaje significativo: teoría y práctica*. Madrid: Visor. 100p.
- (2006). *Aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula*. Brasília: Editora da UnB. 185p.
- (2002). *La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área*. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS. 131p.
- MAYR, E. (1998). *O desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança*. Brasília: Editora da UNB. 1.107p. Traducción al portugués del original *The growth of the biological thought*.
- TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana - Volumen 1: El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid, Alianza Editorial. 525 p. Traducción del original *Human understanding - Volume 1: The collective use and evolution of concepts*. Princeton University Press, 1972.
- VERGNAUD, G. (1990). «La théorie des champs conceptuels». *Récherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23): 133-170.