



Modos de pensar y hablar sobre el equilibrio térmico: significados y contextos de uso en las ciencias de la naturaleza

- Modes of thinking and talking about equilibrium: meaning and contexts of use in the field of science.
- Modos de pensar e falar sobre o equilíbrio térmico: significados e contextos de uso nas ciências da natureza

Rosa Inés Pedreros Martínez¹

¹ Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional - Doctorado Interinstitucional en Educación, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas".
rpedreros@pedagogica.edu.co

Resumen analítico

La presente revisión se realizó con el objetivo de develar los modos de pensar y hablar acerca del equilibrio térmico. Esta se efectuó de manera exploratoria y descriptiva a partir del análisis de los contextos de uso de las fuentes estudiadas. En el análisis se tienen en cuenta el sentido y significado de los modos de pensar y hablar; los modos de pensar y hablar sobre el equilibrio y el equilibrio termodinámico y el fenómeno de equilibrio térmico. Finalmente, se encontró una diversidad de modos de pensar y hablar acerca del equilibrio, que abren la opción de un análisis basado en la explicitación de compromisos ontológicos y epistemológicos que permitan una conexión con los contextos culturales de las comunidades. Con lo anterior se busca la construcción de antecedentes de la tesis doctoral que se pregunta: ¿Cuál es el perfil conceptual de equilibrio térmico de los individuos de dos comunidades culturalmente diferenciadas?, adelantada en el Doctorado Interinstitucional en Educación, línea de investigación Enseñanza de las Ciencias, Contexto y Diversidad Cultural en la Universidad Distrital, Bogotá, Colombia.

Palabras clave:

Equilibrio, modos de hablar, ciencias, enseñanza, diversidad cultural.

Abstract

This review was undertaken with the aim of revealing the modes of thinking and modes of speaking on the equilibrium concept; it is an exploratory and descriptive study, carried out from the contexts analysis of the sources studied. The analysis takes into account the sense and meaning of thinking and speaking modes: thinking and speaking modes on the equilibrium, thermodynamic equilibrium and the phenomenon of thermal equilibrium. Different kinds of modes of thinking and speaking about equilibrium were found and they gave us the option of analyzing facts based on ontological and epistemological foundations that allow researches connect the knowledge with the cultural contexts of communities. This review will help researchers construct a background for the Doctoral study that proposes the following research question: ¿What is the conceptual profile of thermal equilibrium in people of two culturally different communities? and will be carried out in the Interinstitutional PhD in Education at Universidad Distrital Francisco José de Caldas in Bogotá, Colombia.

Key words:

Equilibrium, modes of talking, science education, cultural diversity..

Resumo

A presente revisão foi realizada com o objetivo de revelar os modos de pensar e falar sobre o equilíbrio térmico. Foi realizada de maneira exploratória e descritiva a partir da análise dos contextos de utilização das fontes estudadas. Na análise consideramos o sentido e significado dos modos de pensar e falar; os modos de pensar e falar sobre o equilíbrio e equilíbrio termodinâmico e o fenômeno do equilíbrio térmico. Finalmente, encontramos uma variedade de modos de pensar e falar sobre o equilíbrio, que abrem a opção de uma análise baseada na explicitação de compromissos ontológicos e epistemológicos que permitem uma conexão com os contextos culturais das comunidades. A partir disso se busca a construção de bases para a tese de doutorado que questiona: Qual é o perfil conceitual de equilíbrio térmico dos indivíduos de duas comunidades culturalmente diferentes?, realizada no “Doctorado Interinstitucional de Educación”, linha de “investigación Enseñanza de las Ciencias, Contexto y Diversidad Cultural pela Universidad Distrital, Bogotá, Colombia”.

Palavras-chave:

Equilíbrio, modos de falar, ciências, ensino, diversidade cultural.

Referirse a los conceptos científicos en la enseñanza de las ciencias, como modos de pensar y modos de hablar, implica entenderlos comprendiendo su origen en términos socioculturales (Piaget y García, 1984; Fleck, 1927, 1986; Vygotsky, 1995, 2000, 2007; Elkana, 1977; Molina, 2000a, 2000b 2004, 2005, 2007), o como elaboración de sentido a partir de su uso en contextos específicos (Bruner, 1990; Wittgenstein, 1996), o como significado (Blikstein, 1985; Machado, 1995; Arca, Guidoni y Mazzoli, 1990); estas tres opciones permiten vincular la elaboración de conceptos y nociones con la cultura.

En este sentido, el presente artículo de revisión de tema hace parte de los antecedentes de la tesis doctoral que se pregunta sobre ¿cuál es el perfil conceptual de equilibrio térmico de los individuos de dos comunidades culturalmente diferenciadas? Así, la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural tiene una importante trayectoria en este campo (Ogawa, 1986; Arca et al. 1990; Mathy, 1992; Cobern, 1991, 1993, 1994, 1996; Segura et al. 1995; Aikenhead, 1996, 2001; Cobern y Loving, 2001; Mortimer, 1994, 1995, 2000, 2001; Molina, 2000a, 2000b, 2004, 2005, 2007; Molina et al. 2004; Molina, López y Mojica, 2005; El-Hanni y Sepúlveda, 2006; Aikenhead y Ogawa, 2007; Molina, Martínez, Mosquera y Mojica, 2009; Sepúlveda, 2010).

En particular, referirse al equilibrio, a los modos de pensar y modos de hablar, a sus significados y contextos de uso en las ciencias, a su enseñanza y aprendizaje, es importante por ser una palabra que está presente tanto en el lenguaje cotidiano, como en el científico; nombra el entendimiento de ciertas situaciones del mundo natural relacionadas con su permanencia, estabilidad, cambios y las maneras de relacionarse con

él, entendimiento que está en la base de la constitución misma de los conceptos (Arca et al. 1990; Vygotsky, 1995, 2000, 2007). Así, a partir de la noción de equilibrio se describen distintos sistemas del mundo natural, físico, socio-cultural con variados usos en diferentes dominios, lo cual le da un carácter polisémico (Mortimer, 2000, 2001).

Con la intención de distinguir los modos de pensar y modos de hablar sobre el equilibrio, sus significados y contextos de uso, se presenta en este artículo las diversas maneras de entender la palabra, el contexto en el cual emerge y los aspectos importantes en su conceptualización, en particular en el campo de las ciencias de la naturaleza. Posteriores análisis pueden ser explicitados cuando se observen en detalle otros contextos de uso a partir de los cuales sujetos y comunidades específicas se remiten cuando lo nombran.

Metodológicamente se realiza una exploración y descripción de las fuentes revisadas y se presenta el análisis de cada una de ellas agrupadas en los apartados referidos al sentido y significado de los modos de pensar y modos de hablar; los modos de pensar y modos de hablar sobre el equilibrio y el equilibrio termodinámico y el fenómeno de equilibrio térmico. En la revisión se tienen en cuenta textos escolares, libros, artículos e investigaciones en la enseñanza de las ciencias; las fuentes se seleccionaron a partir de los siguientes criterios: fuentes sobre las cuales se discute y reflexiona sobre los modos de pensar y modos de hablar que circulan en la comunidad académica; libros de divulgación científica y textos escolares en los que se aborda situaciones sobre la física, en particular de la termodinámica e investigaciones adelantadas por maestros en el ámbito de la termodinámica y su enseñanza.

Sentido y significado de los modos de pensar y modos de hablar

Las personas y las comunidades en general se relacionan con el mundo natural, físico y sociocultural de acuerdo con sus experiencias, aprendizajes y convivencia (Arca et al. 1990; Piaget, 1984; Piaget e Inheldert, 1972; Maturana, 1996). Cada comunidad hace parte de un contexto cultural específico, en el cual se comparte un sistema de creencias, imaginarios, juicios y valoraciones constituyendo cosmovisiones particulares. En el caso de la ciencia, los modos de pensar y modos de hablar del mundo están cruzados por los imperativos culturales que circulan en dichos contextos, así cada palabra que se nombra y narra está asociada a determinadas cosmovisiones (Grosfoguel, 2006).

En este sentido, se plantea que las personas tienen diferentes maneras de ver y de conceptualizar el mundo (Tulviste, 1991; Coborn, 1991, 1996; Molina, 2000a, 2000b; Molina, López y Mojica, 2005), lidian con “representaciones colectivas” (Durkheim, 1972) y construyen sus conceptos en virtud de tales dinámicas. Estas construcciones colectivas son de naturaleza supraindividual (o sea, social) y son “impuestas” a la cognición individual. De este modo, se termina lidiando con conceptos y significados compartidos por un grupo de individuos en varias esferas del mundo social, mediante la comunicación efectiva (Mortimer, Scott y El-Hani, 2009; Sepúlveda, 2010).

De otra parte, las diferentes formas de ver y conceptualizar el mundo, como también los diferentes modos de pensar son usadas en diferentes contextos. La heterogeneidad de los modos de pensar se presenta tanto en el contexto del lenguaje cotidiano como en las ciencias; lo cual permite múltiples maneras de conceptualizar la experiencia, por ejemplo, el concepto de átomo (Mortimer, 1994; 1995; 2000). Pero también innumerables “términos científicos” son usados en las experiencias cotidianas, ya sea porque son palabras del lenguaje común apropiadas por la ciencia, como “adaptación”, ya sea porque son palabras de la ciencia que fueron apropiadas por el lenguaje común, como “gen” (Mortimer y Scott, 2003).

La coexistencia de diferentes modos de pensar y modos de hablar como resultado del aprendizaje de las ciencias, entendido como aprendizaje del lenguaje social de la ciencia escolar (Coborn, 1996), implica la coexistencia de estos modos de pensar y modos de hablar que se observan en el discurso en el aula, situaciones que son entendidas desde el enfoque sociointeraccionista (Mortimer y Scott, 2003; Vygotsky, 1995, 2000, 2007).

Desde la teoría de la “visión de mundo”, que se refiere a la organización fundamental de la mente, se involucra un conjunto de presupuestos subyacentes a los actos, los pensamientos, las disposiciones, los juicios, etc., se considera que estos presupuestos tienen un carácter tanto ontológico como epistemológico; criterios que orientan las apreciaciones de cuáles ideas o creencias son válidas

y relevantes, es decir, tienen fuerza y alcance para el individuo. Un concepto o una creencia tienen fuerza si ocupa una posición central y no es marginal en su pensamiento, y tiene alcance cuando estos son relevantes en una gran variedad de contextos (Coburn, 1991, 1993, 1994, 1996).

Finalmente, teniendo en cuenta la construcción del conocimiento y las características de nuestra relación con el mundo, la interacción entre nuestros modos de ser y pensar y el modo de ser de la realidad que nos rodea, puede hacerse más consciente (Arca et al. 1990). La anterior discusión deja claro que en términos didácticos también hay que considerar una heterogeneidad, coexistencia, fuerza y alcance de las creencias sobre lo que es creíble, aceptable, verdadero, etc. (con sentido y significado en los marcos de la ciencia escolar), y que no siempre corresponde con lo creíble, verdadero, plausible, cognoscible en el estudiante (con sentido y significado en los marcos de su propia cultura) (Molina, López y Mojica, 2005).

Lo expuesto anteriormente se evidencia en la revisión que se realiza en el presente artículo a propósito de la palabra equilibrio. El análisis sobre el sentido y significado de los modos de pensar y modos de hablar; los modos de pensar y modos de hablar sobre el equilibrio y el equilibrio termodinámico y el fenómeno de equilibrio térmico, posibilitan distinguir los modos de pensar y hablar, los presupuestos subyacentes, las ideas, las creencias, los significados y los sentidos que se asignan o devienen de la palabra equilibrio.

Modos de pensar y modos de hablar sobre el equilibrio

En este apartado se distinguen los modos de pensar y modos de hablar sobre el equilibrio encontrados en algunos textos escolares y

libros de divulgación científica que circulan a nivel universitario.

Estabilidad e inestabilidad de los sistemas

Este modo de pensar y modo de hablar sobre el equilibrio se refiere a lo que sucede en el entorno. Por ejemplo, la Tierra ha mantenido su actual distancia del Sol durante más de 4000 millones de años, lo cual ha tenido una importancia crucial en el desarrollo de la vida (Trefil, 1986). En este modo de pensar y modo de hablar se presupone la estabilidad del sistema Tierra-Sol, la cual permanece en el tiempo independientemente de las interacciones requeridas para que el sistema permanezca en equilibrio. Otros fenómenos cobijados en este modo de pensar y modo de hablar son los sistemas inestables más próximos a nuestra vida cotidiana, para citar un ejemplo pensemos en los cambios repentinos del tiempo, los cuales demuestran la inestabilidad básica de la atmósfera terrestre; otros eventos que sirven para ejemplificar la inestabilidad de los sistemas son algunos desastres naturales como las avalanchas e inundaciones y las supernovas, a escala astronómica. En este caso, se tienen en cuenta los cambios sin atender a las condiciones, interacciones y explicaciones de cómo se presentan tales eventos.

Para Trefil (1986), los sistemas estables e inestables pueden comprenderse por analogía con una pelota que rueda por el suelo. Cuando se detiene puede hacerlo en alguna de las siguientes situaciones en equilibrio estable (pequeñas perturbaciones no producen cambios), en equilibrio inestable (una pequeña perturbación provoca un gran cambio en el sistema) o en equilibrio neutro o *indiferente*, como un estado intermedio entre la estabilidad e inestabilidad (un pequeño empujón provoca pequeños cambios de posición y la pelota ni

vuelve a su posición inicial ni huye aceleradamente de esta). Con esta analogía se muestra la existencia de la causa para dichos equilibrios (estable, inestable y neutro o indiferente), la acción —fuerza— es la causa. Estas experiencias se pueden explicar también en función de la energía.

Desplazamiento del sistema

En este modo de pensar y modo de hablar sobre el equilibrio se tiene en cuenta lo que sucede en los eventos mecánicos y termodinámicos basados en los desplazamientos, es decir, el sistema experimenta cambios que lo pueden llevar al estado original o a uno nuevo, presentándose diferentes estados de equilibrio, en ambos casos se tiene en cuenta las condiciones del sistema.

Por otra parte, tanto en la mecánica como en la termodinámica se consideran varios tipos de equilibrio. Un sistema está en equilibrio estable si después de experimentar un desplazamiento ligero vuelve a su estado original; está en un equilibrio metaestable si no se altera su estabilidad con pequeños desplazamientos, pero su comportamiento es inestable cuando se presentan desplazamientos mayores, mientras que otros sistemas presentan un equilibrio neutro o indiferente. Los sistemas que se encuentran en un equilibrio neutro o indiferente pueden desplazarse pero permanecerán en la nueva condición o situación cuando se les deje libre, es decir, sin interacciones. Si un sistema es inestable frente a desplazamientos infinitesimales se dice que está en equilibrio inestable. Pero, en la mecánica y en la termodinámica no se consideran equilibrios inestables en este caso, el equilibrio se define en función de variables macroscópicas, de valores medidos a gran escala, que a escala microscópica estarían sometidas a significativas fluctuaciones (Adkins, 1977).

Este modo de pensar y modo de hablar sobre el equilibrio depende del nivel en el que se realice la descripción del sistema. En un análisis a nivel microscópico, las variables consideradas tienen en cuenta las fluctuaciones, es decir, las condiciones del sistema, las cuales no son consideradas en la descripción macroscópica. Por ejemplo, los átomos de un sólido están siempre en movimiento térmico, aunque en sistemas grandes estas fluctuaciones carezcan de importancia relativa, ahora bien, cualquier fluctuación, por pequeña que sea, es suficiente para alterar el equilibrio inestable. Luego, no existe ningún equilibrio realmente inestable aunque en ciertos sistemas el tamaño del desplazamiento, para el cual el sistema es metaestable, puede ser tan pequeño que puede decirse, hablando con poca precisión, que es inestable (Adkins, 1977).

Definido en función de magnitudes macroscópicas, el equilibrio es en sí mismo un concepto macroscópico. Solo puede aplicarse la idea de equilibrio a cuerpos grandes, a sistemas de muchas partículas. Así, el equilibrio se tipifica en este modo de pensar y modo de hablar de la siguiente manera:

Equilibrio estable, una bola en un hoyo y un cilindro de gas a temperatura constante volverán a sus estados iniciales si se desplazan ligeramente y si no se presentan interacciones con el entorno.

Equilibrio indiferente, una bola sobre un plano horizontal puede desplazarse a cualquier posición sobre el plano y permanecerá allí sino hay ninguna interacción sobre ella. Análogamente, un sistema compuesto de un líquido y de su vapor a presión constante también presentará un equilibrio indiferente, porque la presión de vapor depende de la temperatura solamente, de modo que siempre que estén ambas fases presentes, una variación de volumen produce simplemente la condensación o vaporización sin cambio de presión, de modo que el sistema permanece en equilibrio con su entorno.

Equilibrio metaestable, una bola en un agujero que está sobre una superficie convexa, es solo estable frente a pequeños desplazamientos. Una mezcla de hidrógeno y oxígeno dentro de un recipiente térmicamente aislado es también estable frente a pequeños desplazamientos, pero una compresión grande puede elevar la temperatura lo suficiente para hacer que explote la mezcla.

En este modo de pensar y modo de hablar, se contempla por un lado, la idea de sistema aislado (sin interacciones), lo cual permite comprender la estabilidad. Por otro lado, la idea de sistemas cerrados, en donde fluye energía, lo cual genera cambios en el sistema.

De la estructura del sistema a la relevancia de los procesos

En este modo de pensar y modo de hablar sobre el equilibrio hay un distanciamiento con la mirada clásica, en la cual prevalece la descripción a nivel macroscópico y la deter-

minación del estado de equilibrio del sistema, bajo la consideración de que los sistemas están aislados o cerrados. La relevancia que se asigna aquí a los procesos hace que los sistemas sean asumidos con una perspectiva diferente de la termodinámica clásica; no es importante entender al sistema en relación con su estructura (estos es, si se trata de un sistema abierto, cerrado o aislado) ni establecer la distinción usual entre "sistemas físicos", "biológicos", "químicos", etc., sino realizar un tratamiento de los sistemas en términos de estados de equilibrio *en, cerca de, o fuera del equilibrio* (Lazlo, 1990). Así, se tipifican los sistemas como:

Sistemas en equilibrio, cuando los flujos de energía y materia han eliminado diferencias de temperatura y concentración; los elementos del sistema están desordenados en una mezcla al azar que hace que el sistema quede homogéneo y dinámicamente inerte.

Sistemas cerca del equilibrio, cuando hay pequeñas diferencias de temperatura y concentración, la estructura interna no es azarosa y el sistema no es inerte. Tales sistemas tienden al equilibrio cuando desaparecen las restricciones que los mantienen en desequilibrio.

Sistemas fuera del equilibrio, estos conforman la categoría de sistemas que se desenvuelven tanto en el mundo físico como en el biológico y el humano. Dichos sistemas se encuentran lejos del equilibrio térmico y químico, no es posible describirlos linealmente y atraviesan fases indeterminadas, no tienden al mínimo de energía y al máximo de entropía específica, sino que amplifican ciertas fluctuaciones y evolucionan hacia un nuevo régimen dinámico radicalmente diferente a los estados estacionarios en equilibrio o cercanos al equilibrio. Su evolución parece contradecir la 2^a ley de la termodinámica. Estos sistemas necesariamente deben ser sistemas abiertos,

de modo que el cambio de entropía entre ellos no está determinado únicamente por procesos internos irreversibles (Lazlo, 1990).

En la descripción de este modo de pensar y modo de hablar sobre el equilibrio, se tienen en cuenta las características del sistema, los flujos, su evolución y dinámica, es decir, el equilibrio emerge de acuerdo con el comportamiento del sistema y su relación con el entorno. Su descripción se realiza a partir de la identificación de las condiciones, interacciones y su evolución.

Inestabilidad, orden-desorden y dinámica

El análisis de este modo de pensar y modo de hablar sobre el equilibrio tiene en cuenta lo que sucede en los eventos del entorno, en ellos se circunscriben la inestabilidad, el equilibrio y la organización del sistema. Se describe el sistema en relación con la interacción térmica, el orden-desorden del sistema, su evolución, las condiciones y la direccionalidad del proceso. Uno de estos eventos es la convección térmica, fenómeno estudiado por Prigogine (1997) y conocido como la “inestabilidad de Bénard”. Henri Bénard identificó que el calentamiento de una fina capa de líquido puede originar estructuras ordenadas de forma extraña. Cuando un líquido es uniformemente calentado desde abajo, se establece un flujo constante de calor, que se mueve desde el fondo hacia la parte superior; el líquido en sí mismo permanece en reposo y el calor se transmite únicamente por conducción. No obstante, si la diferencia de temperatura entre la parte superior y el fondo alcanza determinado valor crítico, el flujo de calor es reemplazado por una convección térmica, en la que el calor es transmitido por el movimiento de grandes cantidades de moléculas (Capra, 1998).

En el evento de “las células de Bénard”, a medida que el sistema se aleja del equilibrio (es decir, de un estado de temperatura uniforme a través del líquido) alcanza un punto crítico de inestabilidad (Prigogine, 1967). Esta teoría demuestra que el comportamiento de una estructura disipativa alejada del equilibrio no sigue ninguna ley universal, sino que es exclusivo del sistema específico. Cerca del equilibrio, podemos encontrar fenómenos repetitivos y leyes universales. A medida que nos alejamos de él, nos desplazamos de lo universal a lo único, hacia la riqueza y variedad. Esta es una característica de la vida (Prigogine, 1967, 1997).

En este modo de pensar y modo de hablar, las leyes universales se cuestionan en relación a la situación de equilibrio del sistema, dado que como lo muestra Prigogine, cerca del equilibrio se pueden distinguir regularidades, órdenes y formular leyes universales, mediante las cuales se describe el sistema. Sin embargo, cerca o alejados del equilibrio no se puede determinar si la evolución del sistema —bifurcaciones— evoluciona hacia estados no predecibles, se tiene así nuevas organizaciones en el tiempo, se habla entonces de un equilibrio dinámico.

Otro ejemplo, en esta perspectiva, es el flujo de aire caliente que fluye desde la superficie de la tierra hacia el espacio exterior. Se distingue que las estructuras disipativas formadas por remolinos o huracanes pueden mantener su estabilidad solo mientras se dé un flujo constante de materia, desde el medio a través del sistema. De modo parecido, una estructura disipativa viva, como un organismo, necesita de un flujo continuo de aire, agua y alimento desde el medio a través de su sistema para permanecer vivo y mantener un orden (organización). La vasta red de procesos metabólicos mantiene el sistema en un estado alejado del equilibrio, dando origen a bifurcaciones a través de sus bucles de retroalimentación inherentes y, en consecuencia, al desarrollo y a la evolución (Capra, 1998).

De otra parte, los organismos, compuestos por un material que se caracteriza por su inconstancia e inestabilidad, han aprendido, de cierto modo, los métodos para mantener la constancia y la estabilidad en presencia de condiciones, de las cuales podría esperarse que resultasen profundamente perturbadoras. Por ejemplo, el hombre puede ser expuesto durante un tiempo a calor seco entre 115 °C y 128 °C sin que suba la temperatura de su cuerpo por encima de lo normal (Langley, 1969).

Las condiciones constantes, las cuales son mantenidas en el interior del cuerpo, podrían denominarse con el término "equilibrios". Esta palabra ha llegado a tener sentidos muy exactos cuando se aplica a estados físico-químicos relativamente simples, en sistemas cerrados donde se equilibran fuerzas conocidas mientras en los procesos fisiológicos coordinados, que mantienen la mayoría de los estados estables en el organismo, son complejos y tan peculiares de los seres vivos (incluyendo el cerebro y los nervios, el corazón, los pulmones, los riñones y el bazo, todos trabajando coordinadamente), estados denominados *homeostasis* (término

adoptado por Cannon, 1871-1945). La resistencia a los cambios pueden ser inducidos por circunstancias externas, la homeostasis, no implica algo fijo e inmóvil, un estancamiento, significa una condición que puede variar, pero que es relativamente constante. Homeostasis implica la impresión de un mecanismo que previene o bloquea el cambio, que mantiene las cosas como estaban (Langley, 1969).

Lo que sucede en el organismo, las relaciones entre las partes, la funcionalidad y su relación con el entorno, lleva a establecer que el equilibrio está referido a lo que emerge entre la relación parte-todo-entorno-medio interno. El equilibrio en los organismos está dado por las condiciones constantes que son mantenidas en el cuerpo, se reconoce un equilibrio dinámico y procesos de autorregulación —homeostasis— para mantener el sistema en las condiciones necesarias, como corresponde a este tipo de sistema —organismo vivo—.

En este modo de pensar y modo de hablar se tiene en cuenta la estabilidad-inestabilidad del sistema, las condiciones, el tipo de sistema, las interacciones, la direccionalidad de la transformación y su dinámica. El equilibrio es una posibilidad y una manifestación de cómo está el sistema.

El equilibrio termodinámico y el fenómeno de equilibrio térmico

En este apartado se presentan los modos de pensar y modos de hablar sobre el equilibrio termodinámico y el fenómeno del equilibrio térmico. A partir de la literatura revisada se establecen modos de pensar y modos de hablar como cambio y transformación, dirección en que se experimentan los procesos, descripción a partir de las variables intensivas y extensivas, estados de equilibrio térmico y su indiferenciación y equilibración - desequilibración de los fenómenos térmicos.

Cambio y transformación

Cuando el entorno de un sistema sufre un cambio, normalmente el propio sistema sufre una transformación. Por ejemplo, si se coloca el bulbo de un termómetro en un recipiente con agua caliente, el mercurio empezará a dilatarse y se elevará dentro del capilar. Sin embargo, al cabo de cierto tiempo el sistema estará en un estado, en el cual no tiene lugar ningún otro cambio y se dice entonces que se ha alcanzado el equilibrio termodinámico (Adkins, 1977). En este modo de pensar y modo de hablar juega un papel determinante la idea de cambio, manifestado por unos hechos observables como la dilatación de la columna de mercurio, lo cual daría cuenta de la transformación del sistema.

Por otra parte, si colocamos en contacto térmico dos sistemas veremos generalmente que se producen cambios en ambos. Cuando no se produce ningún cambio se dice que ambos sistemas están en equilibrio térmico (Adkins, 1977). El equilibrio termodinámico está referido a los cambios y al desplazamiento del sistema; el equilibrio térmico se presenta en cuanto su relación con otros sistemas, el equilibrio emerge por la ausencia de cambios en el sistema conformado por los dos cuerpos en contacto.

Dirección en que se experimentan los procesos

En este modo de pensar y modo de hablar se recurre al segundo principio de la termodinámica —entropía— (a partir del principio cero podemos dar significado a la temperatura, del primer principio definir la energía y del segundo la entropía). En este caso, es conveniente precisar que en la perspectiva clásica, la entropía está referida a la medida del desorden que se presenta dentro del sistema, mientras que desde perspectivas contemporáneas la entropía da cuenta de nuevos niveles de organización del sistema, el cual, a su vez, se considera como un sistema dinámico (Morin, 1986).

La presentación de la segunda ley de la termodinámica, en los cursos básicos, tiene como propósito abordar la cuestión de la dirección en que se experimentan los procesos termodinámicos. La formulación del principio del incremento de la entropía permite establecer que en un sistema aislado, los procesos podrán ocurrir solo en la dirección en que la entropía de tal sistema aumente, o por lo menos permanezca constante. El enfoque que ahora se requiere presentar es el de la entropía como criterio que permite caracterizar el equilibrio termodinámico de un sistema (García, 2002).

En este modo de pensar y modo de hablar, el equilibrio termodinámico se entiende a partir de la entropía en la cual el sistema pasa del orden a un máximo desorden, pero en un tiempo posterior, durante el proceso, el sistema se estabiliza.

En cuanto a los estados termodinámicos, la experiencia revela que un sistema termodinámico puede adoptar diferentes estados y en algunos la descripción del

misimo es mucho más sencilla que en otros. Por ejemplo, una cantidad de un gas contenida en un cilindro a alta presión en la que el pistón se mantiene fijo mediante algún mecanismo, al accionar este mecanismo y liberar el pistón, el gas se expande espontáneamente hasta que después de algún tiempo el pistón tomará una nueva posición fija. La descripción del gas macroscópicamente es más sencilla (se necesitan menos parámetros) solamente a partir de los estados inicial y final, y no a partir de los estados por los que pasa durante la expansión súbita, los cuales se caracterizan por grandes turbulencias y por ausencia de homogeneidad en numerosas regiones dentro del gas. Son estados de más fácil descripción de los sistemas, los estados a los cuales va dirigida la aplicación de la termodinámica clásica. En torno a la descripción de tales estados se puede formular el siguiente postulado: Los estados de equilibrio de los sistemas termodinámicos simples se pueden describir macroscópicamente en forma completa mediante la energía interna U , el volumen V , y los números de moles n_1, n_2, \dots, n_c de los componentes del sistema (García, 2002).

Conviene hacer énfasis en que el planteamiento anterior se aplica a los sistemas simples, esto es, que pueden tener varios componentes pero que son macroscópicamente homogéneos (una sola fase), químicamente inertes, libres de la influencia de campos eléctricos, magnéticos o gravitacionales, y de tamaño tal que los fenómenos de superficie (capilaridad, tensión superficial) son despreciables. Si el sistema en cuestión estuviera bajo la acción de fenómenos como los mencionados, sería necesario adicionar los parámetros extensivos descritos en el postulado con otros parámetros pertinentes.

Cuando un sistema ha llegado al equilibrio termodinámico no será posible observar en él cambios macroscópicos espontáneos

posteriores. Cualquier cambio que pudiera ocurrir en el sistema en equilibrio necesariamente será consecuencia de una acción dirigida desde los alrededores para provocarlo. En termodinámica las interacciones más importantes entre sistemas son la expansión o contracción de volumen, la transferencia de calor y la transferencia de materia (García, 2002).

Este modo de pensar y modo de hablar se contempla en la termodinámica clásica, en la cual el sistema de estudio considerado es un sistema cerrado (solo hay flujo de energía pero no de masa). La descripción se vuelve sencilla, en la medida que se considera un sistema macroscópico, las variables y parámetros utilizados para caracterizar el sistema son pocos (temperatura, volumen, presión, etc.), el equilibrio queda determinado por los parámetros y las magnitudes observables. Por ejemplo, en un sistema (gas) basta con especificar solamente la presión y el volumen para definir con precisión su estado, estas magnitudes son directamente observables. Las magnitudes nuevas deducibles permiten caracterizar procesos o condiciones de un modo sencillo, los nuevos conceptos se deducen de los principios de la termodinámica.

Descripción a partir de las variables intensivas y extensivas

Este modo de pensar y modo de hablar sobre el equilibrio recoge la discusión sobre las variables intensivas y extensivas de un sistema. La energía se expresa como el producto de la variable intensiva, que expresa el estado del sistema y el cambio de la variable extensiva (intensiva como el potencial y extensiva como la capacidad) (Coull y Stuart, 1964). Cualquier cambio en la variable extensiva a una tasa apreciable de tiempo puede ocurrir solo cuando hay un desequilibrio de las variables

intensivas. Por ejemplo, la variación del volumen de un gas contenido en un cilindro cerrado mediante un émbolo solo es posible si hay una diferente presión entre el exterior y el interior del cilindro, esto es un desequilibrio de presión. En este sentido, la variable intensiva del sistema puede ser considerada como el potencial de la energía.

Las variables termodinámicas comprenden las observables directas y las "nuevas" magnitudes. Se dividen en dos, la primera clase son esencialmente de carácter local, por ejemplo, la presión, campo eléctrico y densidad se conocen como variables intensivas. Las de la segunda clase corresponden a alguna medida del sistema como un todo e incluye magnitudes tales como la masa, el volumen y la energía interna. Estas magnitudes son generalmente proporcionales a la masa del sistema si se mantienen constantes las demás condiciones, se les conoce como variables extensivas.

Por otra parte, se puede discutir el criterio cuantitativo para un sistema en equilibrio, por considerarse que contiene muchas fases y muchos componentes. Dado que, en el punto de equilibrio el sistema estará a temperatura y presión constantes, la variación de la energía libre será nula, es decir, $dF_{T,P} = 0$, (F : energía libre, T : temperatura, P : presión). Así, la ecuación expresa el criterio general de un sistema en equilibrio en términos de energía libre (Coul and Stuart, 1964).

Este modo de pensar y modo de hablar sobre el equilibrio parte del estado del sistema, sus cambios son descritos mediante las variables intensivas y extensivas desde un modelo matemático —ecuación—. Aunque el punto de partida es el cambio de estado del sistema, las relaciones entre las variables intensivas y extensivas dan cuenta del equilibrio del sistema. La ecuación daría cuenta de ello así, si la variación de la energía libre es cero no hay interacciones, no se tiene en cuenta el comportamiento real del mismo.

Estados de equilibrio térmico y su indiferenciación

Este modo de pensar y modo de hablar da cuenta del equilibrio a partir de las sensaciones que el sujeto tiene en la interacción con algunos sistemas y de la relación que establezca entre éstos sistemas y el entorno. El equilibrio térmico está relacionado con la experiencia de percibir sensaciones de frío y caliente; si bien estas sensaciones son muy familiares al sujeto, en la conceptualización del equilibrio térmico emergen una serie de relaciones y conceptos vinculados que dan cuenta del mundo fenomenológico (Laos, 1949; Husserl, 1986; Lyotard, 1973; Vargas, 2006).

A partir de la construcción teórica de un instrumento, para la medición de la temperatura, se considera que el sentido del tacto ofrece la forma más sencilla de diferenciar entre cuerpos calientes y fríos y que, al poner dos cuerpos en contacto uno de los cuales está más caliente que el otro, después de un tiempo, al tocarlos no es posible diferenciarlos térmicamente, además no se observan

variaciones posteriores en las sensaciones al interactuar con ellos. Este estado final caracterizado por la no ocurrencia de cambios, y que intuitivamente se espera se alcance al cabo de un tiempo, se considera como un estado de equilibrio (Malagón, Ayala y Romero, 1998).

Este tipo de actividad, que manifiesta una primera organización de las sensaciones de caliente y frío, es la que permite tener una intuición de lo térmico, es la única forma de la cual disponemos para empezar a construir el concepto de temperatura o, para que la interacción térmica entre cuerpos se constituya en objeto de estudio, posibilita una aproximación a la noción de temperatura, grado de calor, calor, frío, etc., ideas que permiten diferenciar lo térmico de fenómenos de otro tipo.

Para abordar lo térmico, una opción es analizar las transformaciones de las sustancias. El cambio de fase de una sustancia, por ejemplo el agua, ocurre en ciertas condiciones fijas y para otras sustancias ocurre lo mismo pero en condiciones diferentes. Una observación común es que cuerpos con grados de calor diferentes puestos en contacto, interactúan variando sus grados de calor hasta que llega un momento en que no hay más variación, o sea, se equilibran térmicamente. Si se trata de analizar cómo ocurre tal equilibración es posible suponer que hay un flujo de calor entre los cuerpos que interactúan, el cual deja de existir cuando se alcanza el equilibrio térmico entre ellos.

Como el equilibrio implica igualdad, en este caso, indiferenciación térmica, la igualdad de la temperatura es la condición para que se dé tal equilibrio. Y dado que el equilibrio tiene un carácter estrictamente relacional, la temperatura no puede ser pensada como ligada directamente a un cuerpo, sino como referida más bien a la relación de un cuerpo con otros. En otras palabras, la única forma

de dar cuenta del estado térmico de un cuerpo es en su relación con el estado de otro cuerpo (Malagón et al. 1998).

El equilibrio en este modo de pensar y modo de hablar se entiende como igualdad de la temperatura del sistema —cuerpos en contacto—, la cual no es una propiedad del sistema sino que deviene de la interacción térmica entre los cuerpos, es decir, es una emergencia de lo que sucede térmicamente en la interacción; en cuyo caso, la indiferenciación térmica sería la manifestación del equilibrio térmico.

Equilibración-desequilibración de los fenómenos térmicos

En este modo de pensar y modo de hablar se muestra la necesidad de la existencia de causas para dar cuenta de los cambios del sistema. De tal manera, se constituye en una necesidad la búsqueda de las causas para comprender el cambio de estado del sistema. Un cambio de estado de cualquier cuerpo, cualquiera que sea, remite a preguntarse por la causa de ese cambio; es así como se suele hablar de calor para designar la causa del cambio del estado térmico de un cuerpo, de fuerza para designar la causa del cambio del estado de movimiento, de carga para designar la causa de cambio de estado de electrificación. El estado, en cada caso, está identificado por una cierta magnitud intensiva: temperatura en el caso térmico, velocidad en el caso del movimiento, potencial en el caso eléctrico (Romero, Ayala, Malagón, García y Gómez. 1998). En este modo de pensar y modo de hablar inicialmente se muestra la necesidad de la existencia de causas para dar cuenta de los cambios del sistema.

Por otra parte, para poder mantener la temperatura de un cuerpo se requiere que esté a la misma temperatura de su entorno,

es decir, en el mismo estado térmico. Desde este punto de vista, los cambios térmicos ocurren únicamente cuando hay un desequilibrio térmico entre el cuerpo en cuestión y el medio que le rodea. Así, el desequilibrio térmico establece la condición de posibilidad de un cambio de temperatura y la equilibración térmica, a la que se tiende espontáneamente, la causa de dichos cambios. El sistema se encuentra en interacción con su entorno, la caracterización térmica tanto del sistema como de sus alrededores y el desequilibrio térmico entre el sistema y su entorno es una posibilidad para los cambios y la equilibración térmica la causa de los cambios. La causa no es la búsqueda primordial de los cambios del sistema, sino que emerge del desequilibrio-equilibrio del sistema (Romero et al. 1998).

Esta forma relacional de abordar el cambio de estado térmico de un cuerpo que hace del esquema equilibrio-desequilibrio su fundamento, puede ser igualmente usada para dar cuenta de los cambios de estado de un cuerpo, cualesquiera que estos sean: Dos cuerpos pueden interactuar debido a su movimiento siempre y cuando sus velocidades difieran y lo pueden hacer eléctricamente si sus potenciales son diferentes. Perturbar un sistema significa, entonces, ya sea establecer un desequilibrio entre el sistema y el exterior a este, o entre una parte del sistema y el resto de él.

En este modo de pensar y modo de hablar del esquema equilibración-desequilibración se adopta una postura no reduccionista y el principio activo deja de ser una entidad que “existe” ontológicamente. El desequilibrio es la condición de posibilidad de cualquier cambio, y la equilibración la causa de dichos cambios. Por otra parte, todo desequilibrio que desaparece, es decir, todo restablecimiento de equilibrio genera un desequilibrio de alguna clase; y es en el restablecimiento del equilibrio —sea mecánico, eléctrico, químico, etc. — que es posible convertir un fenómeno en otro (Romero et al. 1998). Este modo de pensar y modo de hablar redimensiona la búsqueda de las causas, orienta la descripción de lo térmico desde el equilibrio-desequilibrio, distingue una mirada de totalidad y de interacciones en el estudio de los fenómenos térmicos.

Consideraciones finales

El análisis realizado sobre el sentido y significado de los modos de pensar y modos de hablar; los modos de pensar y modos de hablar sobre el equilibrio y el equilibrio termodinámico y el fenómeno de equilibrio térmico permite vislumbrar variados ámbitos desde los cuales se piensa y habla sobre el equilibrio relacionados con el estudio de un evento referido a un tipo de equilibrio (mecánico, químico o térmico), la emergencia en los cambios (desplazamientos) y direccionalidad de los procesos, la transformación y evolución de los sistemas, la determinación de los estados del sistema, la descripción a partir de variables y parámetros, la dependencia de las condiciones y direccionalidad de los procesos, la estabilidad e inestabilidad del sistema, el orden-desorden y dinámica del sistema, la interacción térmica y la descripción de los cambios del sistema

mediante variables intensivas y extensivas desde un modelo matemático (ecuación).

De otra parte, el equilibrio tiene como objeto, entre otros, la caracterización de lo natural como *no cambio*; una situación en la cual el cuerpo permanece; un sistema que cumple ciertas condiciones de compensación y funcionamiento; materia en la que no hay cambios; mantenerse en un lugar sin moverse o caerse; el reposo y simetría espacial; puntos de equilibrio presentes en el sistema; permanencia del sistema en un estado particular; sistema fijo, sin cambios, ni alteraciones, ni movimientos; permanencia en una nueva condición o situación desplazada (sin interacciones); el orden-desorden y la dinámica del sistema; constancia, estabilidad-inestabilidad (en los procesos fisiológicos); emergencia de las sensaciones (equilibrio térmico); igualdad (indiferenciación térmica); desequilibrio entendido como condición de los cambios y el equilibrio como causa de dichos cambios.

Así mismo, existen diversos criterios para dar cuenta del equilibrio como: la entropía (perspectiva clásica); el desequilibrio; las variables macroscópicas y condición que puede variar, pero que es relativamente constante (en los organismos). El concepto de equilibrio desde la perspectiva newtoniana está relacionado con el concepto de fuerza sobre el cual se explican y predicen los fenómenos mecánicos, particularmente los estáticos. Se tipifica el equilibrio de diferentes maneras: estable, inestable, neutro o indiferente, metaestable, equilibrio dinámico.

En cuanto a los principios ontológicos y epistemológicos, se distingue los modos de pensar y modos de hablar sobre el equilibrio cuando se asume el sistema aislado o cerrado (perspectiva clásica) a diferencia del tratamiento de los sistemas en términos de estados en, cerca de o fuera del equilibrio y a partir

de la relación e interacción de las partes del sistema con su entorno (perspectiva sistémica y compleja). Cerca del equilibrio se pueden distinguir regularidades, órdenes y tener leyes universales mediante las cuales se describe el sistema, pero cerca o alejados del equilibrio no se puede determinar la evolución del sistema —bifurcaciones—, evoluciona a estados no predecibles, se tienen nuevas organizaciones, corresponden a un equilibrio dinámico.

Existe una polaridad en la descripción teniendo en cuenta las partes del sistema aisladas (mirada reduccionista determinista y causal) o concebido el sistema como un todo (mirada de totalidad, compleja).

Para constituir las explicaciones sobre el equilibrio se recurre a analogías mecánicas o al comportamiento de la sustancia; la causa del cambio es externa. La descripción a nivel macroscópica es sencilla (se necesitan menos parámetros), mientras que a nivel microscópico, se debe tener en cuenta las fluctuaciones. Todo cambio de estado de un cuerpo remite a preguntarse por la causa de ese cambio (térmico, mecánico o eléctrico) en la perspectiva clásica, mientras en la mirada no reduccionista (sistémica, compleja) el equilibrio es una emergencia de la desequilibración, inestabilidad o no ocurrencia del cambio, por ejemplo la equilibración térmica.

Se distingue el modo de pensar y modo de hablar sobre el equilibrio termodinámico y el equilibrio térmico. En el primero se describe lo que le sucede al sistema a nivel macroscópico (mirada clásica) a partir de hechos observables, así alcanzar el equilibrio termodinámico exige interacciones térmicas y de trabajo con el entorno. Mientras que en el segundo, el equilibrio térmico se refiere al establecimiento de relaciones entre sistemas, la indiferenciación térmica indica que no hay ningún cambio en la temperatura, el equilibrio

térmico es perceptible a partir de las sensaciones de frío y calor, para abordar lo térmico una opción es analizar las transformaciones de las sustancias y se puede estudiar desde la no ocurrencia del equilibrio térmico.

Con respecto a la enseñanza, Covaleda, Moreira y Caballero (2005) consideran que los conceptos de sistema y equilibrio son importantes en el aprendizaje de la mecánica y física en general. Son conceptos centrales que permiten la comprensión de nuevos conocimientos en la mecánica y la termodinámica. El equilibrio tiene un carácter transdisciplinar.

Finalmente, se distingue en el estudio de la palabra equilibrio que se presentan diversas características de modo que todo estudiante puede poseer más de un modelo conceptual que podría ser utilizado en contextos apropiados. Esta diversidad de modos de pensar y hablar acerca del equilibrio, abre la opción de un análisis basado en la explicitación de compromisos ontológicos y epistemológicos en la base de estos modos que permite una conexión con los contextos culturales de las comunidades con las cuales se realiza el proceso de enseñanza-aprendizaje, en particular de las ciencias naturales.

La revisión realizada permite además, considerar la pluralidad epistémica y cultural tanto en el aula como en las comunidades científicas, lo cual se constituye en una alternativa para el reconocimiento del otro, su distinción y diálogo, particularmente en el aula. La revisión de las fuentes e investigaciones sobre una palabra o noción como el equilibrio, abren nuevas rutas de estudio y desafíos para comprender los diversos significados que las personas le asignan, lo cual lleva a repensar la ciencia y su enseñanza, particularmente de la termodinámica.

Referencias bibliográficas

- Adkins, C. J. (1977). *Termodinámica del equilibrio*. Barcelona: Reverté.
- Aikenhead, G. (1996). Science education: Border crossing into the subculture of science. *Studies Science Education*, 27, 1-52.
- Aikenhead, G. (2001). Students' ease in crossing cultural borders into school science. *Science Education*, 85, 180-188.
- Aikenhead, G. y Ogawa, M. (2007). Indigenous knowledge and science revisited. *Cultural Studies of Science Education*, 2(3), 539-620.
- Arca, M., Guidoni, P. y Mazzoli, P. (1990). *Enseñar ciencia. Cómo empezar: Reflexiones para una educación científica de base*. Barcelona: Paidós Educador.
- Blikstein, I. (1985). *Kaspar Hauser ou a fabricação da realidade*. São Paulo: Cultrix.
- Bruner, J. (1990). *Actos de significado: Más allá de la revolución cognitiva* [Trads. Juan Carlos Gómez y José Linaza]. Madrid: Alianza.
- Capra, F. (1998). *La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Barcelona: Anagrama.

- Coborn, W. (1991). *World view theory and science education research*. Manhattan-Kansas: NARST.
- Coborn, W. (1993). College student's conceptualizations of nature: an interpretative world analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 935-951.
- Coborn, W. (1994). Point: Belief, understanding, and the teaching of evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 583-590.
- Coborn, W. (1996). Worldview theory and conceptual change in science education. *Science Education*, 80(5), 579-610.
- Coborn, W. y Loving, C. (2001). Defining "science" in a multicultural world: Implications for science education. *Science Education*, 85, 50-67.
- Coull, J. y Stuart, E. (1964). *Equilibrium Thermodynamics*. New York: John Wiley & Sons.
- Covaleda, R., Moreira, M. A. y Caballero, M. (2005). Los significados de los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica. Estudio exploratorio con estudiantes universitarios. En <http://www.saum.uvigo.es/reec>.
- Durkheim, E. (1972). *Selected writings*. Cambridge: Cambridge University Press.
- El-Hani, C. N., y Sepúlveda, C. (2006). Referenciais teóricos e subsídios metodológicos para a pesquisa sobre as relações entre educação científica e cultura. In: F. M. T. Santos e I. M. R. Greca (orgs.), *A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias* (161-212). Ijuí-RS: UNIJUÍ.
- Elkana, Y. (1977). La ciencia como sistema cultural: Una aproximación antropológica. En V. Mathie y P. Rossi (ed.), *La culture scientifique dans le monde contemporaine* (pp. 275-311). Roma: Unesco-Scientia.
- Fleck, L. (1927). Some specific features of the medical way of thinking. En R. Cohen y T. Schnelle, *Cognition and fact. Materials on Ludwik Fleck* (pp. 39-46). Dordrecht: Reidel.
- Fleck, L. (1986). *La génesis y el desarrollo de un hecho científico* [Traducción de Luis Meana]. Madrid: Alianza Editorial.
- García, I. (2002). *Introducción al equilibrio termodinámico y de fases*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ingeniería.
- Grosfoguel, R. (2006). La descolonización de la economía política y los estudios postcoloniales: Transmodernidad, pensamiento fronterizo y colonialidad global. *Tabula Rasa*, 4, 17-48.
- Husserl, E. (1986). *Meditaciones Cartesianas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Langley, M. (1969). *Homeostasis*. Madrid: Alhambra.
- Laos, J. (1949). *Ideas I*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lazlo, E. (1990). *La gran bifurcación*. Barcelona: Gedisa.

- Lyotard, F. (1973). *La fenomenología*. Buenos Aires: Eudeba.
- Machado, N. (1995). *Epistemologia e Didática: As concepções de conhecimento e inteligência e a prática docente*. São Paulo: Cortez Editora.
- Malagón, F., Ayala, M. M. y Romero, A. (1998). *La temperatura, la comparación de estados de equilibrio térmico y la construcción del termómetro* [Pre Impresos n.º 6. Postgrados Departamento de Física]. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Mathy, P. (1992). *Las teorías de la evolución en los manuales escolares. Análisis crítico-histórico-epistemológico y proposición de alternativas*. Namur–Bruxelles: Département Sciences, Philosophies, Sociétés Facultés Universitaires.
- Maturana, H. (1996). *El sentido de lo Humano*. Chile: Dolmen Ediciones.
- Molina, A. (2000a). *Conhecimento, Cultura e Escola: Um estudo de suas Inter-relações a partir das idéias dos alunos (8-12 anos) sobre os espinhos dos cactos*. 2000 (Tese doutoral). Universidade de São Paulo: Brasil.
- Molina, A. (2000b). Conglomerado de relevancias de niños, niñas y jóvenes. *Revista Científica*, 4(1), 187-200.
- Molina, A. (2004). Investigaciones acerca de la enseñanza, el aprendizaje de los textos escolares en la evolución de la vida: enfoques culturales. *Cuadernos de Investigación, Enfoques culturales en la educación en ciencias caso de la evolución de la vida*, 4, 9-33.
- Molina, A. (2005). El “otro” en la constitución de identidades culturales. En C. Piedrahita y E. Paredes (ed.). *Cultura política, identidades y nueva ciudadanía*, 2, 139-169.
- Molina, A. (2007). Relaciones entre contexto cultural y explicaciones infantiles acerca del fenómeno de las adaptaciones vegetales. *Nodos y Nudos*, 23(3), 76-87.
- Molina, A., El-Hani, C.N., Sepúlveda, C., López, D., Mojica, L. y Espitia, M. (2004). Las fuentes de conocimiento, selección de contenidos y textos didácticos. *Cuadernos de investigación, Enfoques culturales en la educación en ciencias caso de la evolución de la vida*, 4, 26-33.
- Molina, A., López, D. y Mojica, L. (2005). Ideas de los niños y niñas sobre la naturaleza de: un estudio comparado. *Revista Científica*, 7(1), 41-62.
- Molina, A., Martínez, C. A., Mosquera C. J. y Mojica, L. (2009). Diversidad cultural e implicaciones en la enseñanza de las ciencias: reflexiones y avances. *Revista Colombiana de Educación*, 56, 103-128.
- Morin, E. (1986). *El Método I. La naturaleza de la Naturaleza*. Cátedra: Madrid.
- Mortimer, E. F. (1994). *Evolução do atomismo em sala de aula: Mudança de perfis conceituais* (Tese doutorado). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- Mortimer, E. F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science and Education*, 4, 265-287.
- Mortimer, E. (2000). *Linguagem e formacao de conceptos no ensino de ciencias*. Belo Horizonte: Editora UFMG.
- Mortimer, E. F. (2001). Perfil conceptual: modos de pensar y formas de hablar en las aulas de ciencia. *Infancia y Aprendizaje*, 24(4), 475-490.
- Mortimer, E. F. y Scott, P. H. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Buckingham: Open University Press.
- Mortimer, E. F., Scott, P. y El-Hani, C. N. (2009). Bases epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais. Submetido ao VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC).
- Ogawa, M. (1986). Towards a new rationale of science education in a nonwestern education. *Bulletin of the Faculty of Education, Ibaraki University. Educational Sciences*, 35, 1-8.
- Pedreros-Martínez, R.I. (2014). Modos de pensar y hablar sobre el equilibrio térmico: Significados y contextos de uso en las ciencias de la naturaleza. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*. Num 35. p.113-132.
- Piaget, J. (1984). *La representación del mundo en el niño*. Madrid: Morata.
- Piaget, J. y Inheldert, B. (1972). *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Buenos Aires: Paidós.
- Piaget, J. y García, R. (1984). *Psicogénesis e Historia de la Ciencia*. México: Siglo XXI.
- Prigogine, I. (1967). Dissipative structures in chemical systems. En Stig Claesson (ed.), *Fast reactions and primary processes in chemical kinetics to becoming*, Freeman. Nueva York: Interscience.
- Prigogine, I. (1997). *El fin de las certidumbres*. Madrid: Taurus.
- Romero, Á., Ayala, M., Malagón, F., García, E. y Gómez, M. (1998). La convertibilidad de los fenómenos y la conservación de la energía [Pre Impresos n.º 5. Postgrados. Departamento de Física]. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Segura, D., Molina, A., Pedreros, R., Arcos, F., Velasco, A., Leuro, R. y Hernández, G. (1995). *Vivencias de conocimiento y cambio cultural*. Santa Fe de Bogotá: Corporación Escuela pedagógica Experimental-Colciencias.
- Sepúlveda, C. (2010). *Construcción de perfil conceptual de adaptación y análisis de la dinámica discursiva en contextos de enseñanza de la evolución* (Tesis de Doctorado en Educación). Facultad de Educación, Universidad Federal de Bahía, Salvador: Brasil.
- Trefil, J. (1986). *El panorama inesperado, la naturaleza vista por un físico. El universo bien equilibrado*. Barcelona: Salvat Editores.

- Tulviste, P. (1991). *The cultural-historical development of verbal thinking* [M. J. C. Hall, Transl.]. New York: Nova Science.
- Vargas, G. (2006). *Pensar sobre nosotros mismos*. Bogotá: San Pablo.
- Vygotsky, L. S. (1995). *Pensamiento y lenguaje. Teoría del desarrollo cultural de las funciones psíquicas* [Traducción del original ruso: Marío M. Rotger]. Buenos Aires: Ediciones Fausto.
- Vygotsky, L. S. (2000). *A construção do pensamento e da linguagem* [P. Bezerra, trad.]. São Paulo: Martins Fontes.
- Vygotsky, L. S. (2007). *Pensamiento y habla*. Buenos Aires: Colihue.
- Wittgenstein, L. (1996). *Investigaciones filosóficas* [Trad. Portuguesa Marcos G. Montagnoli]. Brasil: Vozes.