

Formas de pensar e falar sobre o equilíbrio nas ciências da natureza

Ways of thinking and talking about the balance in the Sciences of nature

Rosa Inés Pedreros Martínez¹, Rosa Inés Pedreros Martínez², Rosa Inés Pedreros Martínez³, Rosa Inés Pedreros Martínez²

¹ UPN - Universidad Pedagógica Nacional, ² UD - Universidad Distrital, ³ UPN - UD - Universidad Pedagógica Nacional - Universidad Distrital

Resumo

Esta avaliação foi realizada com o objetivo de descobrir as maneiras de pensar e modos de falar sobre o conceito de equilíbrio, esta foi realizada através da análise dos contextos de uso das fontes de estudo, livros de ciência popular que circulam no nível universitário. A análise permitiu vislumbrar vários campos e critérios para pensar e falar sobre o equilíbrio. A análise faz parte dos fundamentos da tese de doutorado que a pergunta ¿Qual é o perfil conceptual de equilíbrio térmico de indivíduos de duas comunidades culturalmente diferentes?, avançado em doutorado institucional em Educação, linha de pesquisa Ensino de Ciências, Contexto e Diversidade cultural, na Universidade Distrital, Bogotá, Colômbia.

Palavras-chave: Equilíbrio, formas de pensamento, ciências, formas de falar, sistemas.

Abstract

This review was carried out with the aim of uncovering the ways of thinking and ways of talking about the concept of balance; this was carried out based on the analysis of the contexts of use of studied sources, scientific books that circulate at the University level. The analysis allowed glimpsing into varied areas and criteria from which it thinks and talks about the balance. The review is part of the foundations of the doctoral thesis which asks ¿What is the Conceptual profile of thermal balance of individuals from two culturally distinct communities?, advanced in the inter-institutional PhD in education, science education research, context and cultural diversity, in the Universidad Distrital, Bogota, Colombia.

Key words: Balance, ways of thinking, Sciences, ways of speaking, systems.

Introducción

Con la intención de distinguir los modos de pensar y modos de hablar sobre el equilibrio, se presenta el contexto con el cual se relaciona y los aspectos importantes en su conceptualización, en particular en el campo de las Ciencias de la Naturaleza. Se tiene en cuenta en la revisión fuentes de libros de divulgación científica que circulan a nivel universitario referidos al ámbito de las ciencias.

En cuanto al sentido y significado de los modos de pensar y modos de hablar, se encuentra que las personas y las comunidades en general, se plantea que las personas tienen diferentes maneras de ver y de conceptualizar el mundo (Tulviste, 1991; Cobern, 1991, 1996; Molina, 2000a, 2000b), lidian con “representaciones colectivas”, (Durkheim, 1972) y construyen sus conceptos en virtud de tales dinámicas. Estas construcciones colectivas son de naturaleza supra-individual (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 & 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. (Mortimer, 1994, 1995, 2000). Además, 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, Guidoni y Mazzoli, 1990).

La revisión que se presenta hace parte de los fundamentos 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, bajo la dirección de la doctora Adela Molina Andrade, en la Universidad Distrital, Bogotá, Colombia.

Modos de pensar y modos de hablar sobre el equilibrio

Referirse al equilibrio, a los modos de pensar y modos de hablar, a sus significados y contextos de uso en las ciencias, es importante por ser una palabra que está presente tanto en el lenguaje cotidiano, como en el científico, (Mortimer, 1994, 1995, 2000); nombra el entendimiento de ciertas situaciones del mundo natural relacionadas por ejemplo, con la estabilidad e inestabilidad de los sistemas, el desplazamiento del sistema, la estructura y sus procesos y, la inestabilidad, orden-desorden y dinámica del sistema. Planteamientos que se exponen a continuación.

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 al Sol durante más de 4.000 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 atmosfera 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 ésta). 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 sí después de experimentar un desplazamiento ligero vuelve a su estado original; está en un equilibrio metaestable sí 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. Sí 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. Sólo 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 sí se desplazan ligeramente y sí 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 sólo 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 determinación 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 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 son posibles de ser descritos 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 2ª 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 descubrió que el calentamiento de una fina capa de líquido puede originar estructuras extrañamente ordenadas. 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, ordenes 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 sólo 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 emerja 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.

Consideraciones Finales

El análisis realizado 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.

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). Se típica el equilibrio de diferentes maneras: Estable, inestable, neutro o indiferente, metaestable, equilibrio dinámico.

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, ordenes 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).

En el estudio del concepto de equilibrio se presenta 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 a 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.

Finalmente, la revisión realizada permite 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. Las fuentes e investigaciones abren nuevas rutas de estudio y desafíos para pensar la enseñanza de las ciencias.

Referencias Bibliográficas

- ADKINS, C. J. *Termodinámica del equilibrio*. Barcelona: Reverté, 1977.
- ARCA, M., GUIDONI, P & MAZZOLI, P. *Enseñar ciencia. Cómo empezar: Reflexiones para una educación científica de base*. Barcelona: Paidós Educador., 1990.
- CAPRA, F. *La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Barcelona: Anagrama, 1998.
- COBERN, W. World View Theory and Science Education *Manhattan, KS: National Association for Research in Science Teaching*, 1991, p. 1-10.
- COBERN, W. Worldview theory and conceptual change in science education. *Science Education*, 1996, 80, p. 579-610.
- DURKHEIM, E. *Selected writings*. Cambridge: Cambridge University Press, 1972.
- LANGLEY, M. *Homeostasis*. Madrid: Alhambra, 1969.
- LAZLO, E. *La gran bifurcación*. Barcelona: Gedisa, 1990.
- MOLINA, A.). *Conhecimento, Cultura e Escola: Um estudo de suas Inter-relações a partir das idéias dos alunos (8-12 anos) sobre os espinhos dos cactos*. Tese doutoral, Universidade de São Paulo: Brasil, 2000a.
- MOLINA, A. Conglomerado de relevancias de niños, niñas y jóvenes. *Revista Científica*, 2000b, 4, n.1, p. 187-200.
- MORTIMER, E. F. *Evolução do atomismo em sala de aula: Mudança de perfis conceituais*. Tese Doutorado, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? *Science and Education*, 1995, 4, p. 265–287.
- MORTIMER, E. *Linguagem e Formacao De Conceptos No Ensino De Ciencias*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.
- MORTIMER, E. F; Scott, P. & El-Hani, C.N. Bases epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais. Submetido ao *VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)*, 2009.

PRIGOGINE, I. *Dissipative Structures in Chemical Systems*, en Stig Claesson (ed.) *Fast Reactions and Primary Processes in Chemical Kinetics to Becoming*, Freeman. Interscience, Nueva York, 1967.

PRIGOGINE, I. *El fin de las certidumbres*. Madrid: Taurus, 1997.

SEPÚLVEDA, C. *Construcción de perfil conceptual de adaptación y análisis de la dinámica discursiva en contextos de enseñanza de la evolución*, Tesis Doctorado en Educación, Facultad de Educación, Universidad Federal de Bahía, Salvador: Brasil, 2010.

TREFIL, J. *El panorama Inesperado, La naturaleza vista por un físico. El universo bien equilibrado*. Barcelona: Salvat Editores., 1986.

TULVISTE, P. *The cultural-historical development of verbal thinking* (M. J. C. Hall, Transl.). New York: Nova Science, 1991.