

INCONMENSURABILIDAD Y MÚLTIPLES MODELOS: LAS CONCEPCIONES SOBRE ESTRUCTURA DE LA MATERIA DE LOS ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS DE QUÍMICA

FLORES¹, FERNANDO; GALLEGOS¹, LETICIA y GARRITZ², ANDONI

¹ Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico,

² Fac. de Química,

Universidad Nacional Autónoma de México.

Palabras clave: Múltiples representaciones; Inconmensurabilidad; Cambio conceptual; Estructura de la materia.

1. INTRODUCCIÓN (PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS)

El reconocimiento de que los estudiantes construyen diversas representaciones y modelos de los conceptos científicos ha llevado al desarrollo de planteamientos nuevos sobre las condiciones y características de tal multiplicidad. Ejemplos de tales planteamientos se encuentran en la fenomenografía, los perfiles conceptuales, los análisis sobre la influencia del contexto y su funcionamiento en el aula.

Dentro del debate se encuentra comprender cuál es el papel de las múltiples representaciones en el aprendizaje. Una primera aproximación hacia esa problemática es, sin duda, la inconmensurabilidad de tales representaciones o modelos. En primer lugar, porque la inconmensurabilidad ha mostrado jugar un papel importante en la construcción del conocimiento científico (Kuhn, 1971), y, en segundo, porque tal inconmensurabilidad permitiría comprender la coexistencia, sin contradicción, de distintas representaciones del conocimiento de los estudiantes.

Si bien el concepto de inconmensurabilidad ayuda a explicar el desarrollo del conocimiento científico en los estudiantes, también genera problemas en la interpretación de cómo se construyen los modelos y cómo conviven simultáneamente, cuestión que Chi y Roscoe (2002) intentan resolver a través de categorías ontológicas distintas.

En este trabajo se presenta una aproximación donde, a través de criterios de traducibilidad se da cuenta de la inconmensurabilidad de las representaciones sobre estructura de la materia de estudiantes de la licenciatura de Química. Este es un tema ampliamente analizado y donde se muestra que los estudiantes construyen representaciones múltiples (Gallegos, 2002).

2. SOBRE INCONMENSURABILIDAD (MARCO TEÓRICO)

Kuhn (1971) establece la necesidad de introducir la inconmensurabilidad cuando plantea al nuevo “paradigma” como el generador de un cambio de visión y fundamento para la construcción de una teoría científica. La inconmensurabilidad está así, asociada a la construcción del conocimiento científico.

Si utilizamos esta explicación en el contexto escolar, podemos suponer que las representaciones de los estudiantes son inconmensurables entre sí y con las teorías científicas. La pregunta que surge es ¿la inconmensurabilidad de los modelos múltiples que van adquiriendo los estudiantes de ciencias no permite su comparación y por lo tanto su evaluación racional? Veremos que esto no es así.

Inconmensurabilidad, su papel en la construcción del conocimiento.

La inconmensurabilidad entre teorías implica los siguientes puntos:

- 1) Diferentes interpretaciones de los conceptos se emplean en cada una de las teorías;
- 2) En la teoría emergente se abordan nuevos problemas;
- 3) Las soluciones sugeridas se evalúan con estándares diferentes
- 4) Las percepciones de los fenómenos correspondientes son estructuradas de manera diferente (Carrier, 2002).

La noción de inconmensurabilidad abrió, nuevamente, el debate sobre la racionalidad de la ciencia. Esto plantea el análisis de los procesos de transformación del conocimiento y el de los referentes que le dan significado. La argumentación que soporta a la inconmensurabilidad como elemento del desarrollo del conocimiento se ha realizado en varias líneas.

La primera es, como hizo notar Kuhn (1971), que no se puede construir un *lenguaje observacional puro*.

La segunda línea argumenta la *inconmensurabilidad local* (Pérez-Ransanz 1999)

La tercera línea (Carrier, 2002) justifica la inconmensurabilidad en aspectos complementarios: la *teoría semántica* y la *justificación histórica*.

La cuarta línea tiene que ver con la forma de establecer *clasificaciones de conceptos, categorías taxonómicas o clases naturales* (Pérez-Ransanz, 1999).

Finalmente, queda anotar que los aspectos mencionados sobre la inconmensurabilidad llevan implícita la idea de multi-representacionalidad de teorías o modelos que se ven reflejados en los conceptos y referentes.

Elementos para analizar la inconmensurabilidad de las representaciones de los alumnos

Si bien las construcciones de los estudiantes no son equivalentes formalmente a las teorías científicas, la idea de inconmensurabilidad es aplicable a su conjunto de representaciones en la medida en que son, también, construcciones para la interpretación de ciertas fenomenologías y que sus diferencias implican visiones no traducibles.

Proponemos las siguientes condiciones para determinar si las concepciones o modelos de los alumnos son inconmensurables o no.

I. No-traducibilidad. Se parte de que, entre dos teorías o modelos, algunos conceptos básicos no son traducibles mutuamente. Esto implica que el conjunto de conceptos básicos se deben cumplir las siguientes condiciones:

- a) Identidad e inclusión de los conceptos básicos. No hay relaciones de la teoría de conjuntos que equiparen los significados. Es decir, los conceptos o nociones básicas no pueden relacionarse de manera lógica (identidad, inclusión, sobreposición parcial, etcétera)
- b) Traducibilidad de los conceptos básicos. No hay reglas de traducción que equiparen los significados. Cualquiera regla de traducción –matemática o no– no logra hacer que compartan el mismo significado;
- c) Relación de los conceptos básicos con los términos de referencia (contextuales referentes estructurales y semánticos). No hay ningún otro conjunto de términos que puedan aplicarse a los conceptos básicos, que haga que éstos tengan el mismo significado.

II. Referentes o clases naturales. Implica que el conjunto inconmensurable (en los términos de I) de conceptos básicos provee de una nueva interpretación a los referentes (otros conceptos, variables y mediciones) de la fenomenología. Los criterios son:

- d) Comparabilidad de los referentes fenomenológicos. Existe un conjunto de referentes fenomenológicos compartido y comparables para ambos modelos.
- e) Significado distinto de los referentes fenomenológicos comparables. Los referentes fenomenológicos de una teoría o de un modelo, tienen significado, relaciones y/o propiedades distintas.
- f) Traducibilidad de los referentes fenomenológicos. No hay reglas de traducción (identidades, inclusiones, reducciones y reglas matemáticas) de los referentes fenomenológicos de una teoría a los de la otra.

Si bien estas condiciones no constituyen una prueba formal de la inconmensurabilidad entre teorías, sí proporcionan elementos que permiten, en primera instancia decidir sobre ella. Balzer, Moulines y Sneed (1987)

3. LOS MODELOS Y PERFILES DE LOS ESTUDIANTES DE QUÍMICA SOBRE LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA Y SU INCONMENSURABILIDAD (DESARROLLO DEL TEMA)

Para obtener los diversos modelos que tienen los estudiantes de química, se determinaron los modelos generales sobre estructura de la materia de estudiantes. Posteriormente se aplicaron los criterios desarrollados para determinar la inconmensurabilidad entre ellos.

Muestra. Se analizaron 109 alumnos de primero, tercero, quinto, séptimo y noveno semestres de la carrera de Química de la Facultad de Química de la UNAM. Aproximadamente 25% del total de estudiantes de esa carrera.

Cuestionarios. Se desarrollaron dos cuestionarios paralelos con preguntas abiertas, en uno la respuesta podía ser de orden general y en el otro debía estar en términos de una visión discreta de la materia (partículas, átomos y moléculas).

Entrevistas. Se entrevistó a un total de 10 alumnos (dos por cada uno de los semestres analizados) que fueron seleccionados con base en que sus respuestas mostraran, uno u otro tipo de representación (continua y discreta).

Modelos de estructura de la materia de los estudiantes de química. Del análisis de las repuestas de los alumnos se determinaron cinco modelos: Continuo, (C), Sustancialista (S), Molecular I (M I), Molecular II (M II) y Electrónico (E).

TABLA 1
Descripción sintética de los modelos de los estudiantes

Continuo	Sustancialista	Molecular I	Molecular II	Electrónico
No hay presencia de partículas. Cuando se menciona la presencia de partículas, éstas se encuentran en algún medio. Entre las partículas no hay espacios vacíos	Se reconoce la presencia de partículas. Las partículas conservan las propiedades macroscópicas de la materia. Las partículas son entidades independientes. Las partículas (moléculas) tienen movimiento y propiedades macroscópicas de la materia.	La materia está formada por moléculas que son entidades independientes de materia. Las moléculas tienen velocidad, energía cinética y chocan continuamente. Las moléculas interactúan por medio de reordenaciones espaciales como reacción a agentes y procesos externos.	La materia está formada por moléculas que son entidades independientes de materia. Las moléculas interactúan por medio de fuerzas electrostáticas. Las interacciones son una característica interna.	La materia está formada por átomos que contienen electrones. La interacción entre átomos y electrones está dada por fuerzas eléctricas. Las variaciones en las energías de los electrones producen los cambios que se observan macroscópicamente.

Inconmensurabilidad de los modelos. Para dar cuenta de la inconmensurabilidad entre los modelos de los estudiantes se aplicaron las condiciones propuestas a pares de modelos. Una muestra del análisis es la siguiente.

Modelo Continuo vs. Modelo Sustancialista

- a) Identidad e inclusión de los conceptos básicos
Debido a la indivisibilidad de la idea de partícula, en el modelo sustancialista no hay ninguna posible relación de identidad o inclusión con la idea de sección pequeña de materia continua.
- b) Traducibilidad de los conceptos básicos
No se puede suponer una regla que traduzca la idea de partícula como entidad independiente a una sección pequeña del continuo puesto que se subdividen indefinidamente. En el modelo sustancialista las moléculas se encuentran en un medio, lo que tampoco tiene traducibilidad porque en el continuo la materia es el medio mismo.
- c) Relación de los conceptos básicos con los términos de referencia
Para construir un significado equivalente entre conceptos básicos de ambos modelos no se pueden encontrar en cada uno tal conjunto de conceptos que, relacionados, traduzcan uno en otro. Por ejemplo, en el modelo discreto no hay manera de mostrar la divisibilidad continua de la materia.
- d) Comparabilidad e identidad de los referentes fenomenológicos.
Los cambios de estado como la densidad son observables comparables, uno por su manifestación en fases de la materia y el otro por su cuantificación.
- e) Significado distinto de los referentes fenomenológicos
Los referentes fenomenológicos son los mismos en los dos modelos. Sin embargo, tienen distintos significados, por ejemplo la densidad en el modelo continuo se identifica macroscópicamente como m/V , mientras que en el modelo sustancialista se refiere a la cantidad de partículas que se encuentran en una unidad de volumen. Por lo que se cumple esta característica.
- f) Traducibilidad de los referentes fenomenológicos
En este caso sí es posible encontrar una relación, como masa/volumen que traduzca operativamente la concepción de densidad entre ambos modelos. Así para el caso sustancialista los cambios en densidad son debidos al aumento o disminución del volumen de las partículas (en el pensamiento de los alumnos) lo que es equivalente a la visión continua de compactación o dilatación de la sustancia. Por lo que la no traducibilidad no se cumple.

Como puede notarse hay inconmensurabilidad entre el modelo continuo y el sustancialista, si bien, no es completa. Sin embargo basta con que un concepto sea inconmensurable, para que las teorías o modelos lo sean. (Blazer, Moulines y Sneed, 1987). La siguiente 2 tabla resume las relaciones de inconmensurabilidad entre los diferentes modelos.

TABLA 2
Inconmensurabilidad entre los modelos de estructura de la materia de los estudiantes

Modelos	Continuo	Sustancialista	Molecular I	Molecular II	Electrónico
Continuo		Inconmensurabilidad mínima	Inconmensurable	Inconmensurable	Inconmensurable
Sustancialista	Inconmensurabilidad mínima		Inconmensurable	Inconmensurable	Inconmensurable
Molecular I	Inconmensurable	Inconmensurable		Inconmensurable	Inconmensurable
Molecular II	Inconmensurable	Inconmensurable	Inconmensurable		Comensurable
Electrónico	Inconmensurable	Inconmensurable	Inconmensurable	Comensurable	

4. CONCLUSIONES

Una de las preguntas en torno a éstos múltiples modelos es por qué los sujetos no reconocen las aparentes contradicciones en las que incurrir al emplearlos. La inconmensurabilidad entre esos modelos es una de las posibles explicaciones. La inconmensurabilidad implica que, entre los distintos modelos no hay contra-

dicción, sino un problema de no-traducibilidad. Reconocer ésta y los elementos base que la implican, no es un problema sencillo y requiere de un análisis profundo de los límites y alcances de los distintos modelos, aspecto que puede quedar oscurecido por los significados de los referentes, pero sobre todo, por el dominio empírico de aplicabilidad (Carrier, 2002). No es pues de sorprender que en la aplicación de sus modelos los estudiantes no perciban problemas y los utilicen de manera natural.

No deja de llamar la atención que el Modelo Continuo siga siendo utilizado por los alumnos universitarios. El Modelo Sustancialista se emplea con mayor frecuencia y corresponde a una visión en la que se encuentran la mayoría de las ideas previas. Los modelos Molecular I y Molecular II ya no trasladan las propiedades macroscópicas a las partículas o moléculas, pero representan visiones distintas; en el primer caso, las interacciones posibles entre la materia vienen dadas de manera externa a las partículas de las que se tienen una imagen de esferas con movimiento que sólo colisionan. En el segundo modelo se atribuye una acción entre las moléculas debida a propiedades intrínsecas, en especial a la distribución de carga eléctrica, aspecto que las hace conmensurables con el Modelo Electrónico.

Los distintos modelos sobre estructura de la materia que se encontraron en los estudiantes, su coexistencia y la inconmensurabilidad entre la mayoría de ellos, indican que los alumnos han construido un conjunto de modelos que les ponen en disposición de interpretar diversos referentes fenomenológicos, por lo que se nota un progreso en su comprensión de la estructura de la materia.

¿Qué implicaciones pueden aventurarse de inconmensurabilidad para la enseñanza? Uno de los aspectos es lograr que los estudiantes sean conscientes de sus diversos modelos y los contextos en los que los usan, así como de sus diferencias fundamentales. Avanzar en la determinación de posibilidades y limitaciones que cada uno de esos modelos, les permitirán ir reduciendo y minimizando el número de modelos usados.

5. REFERENCIAS

- BLAZER, W., MOULINES, U & SNEED, J. (1987). *An Architectonic for Science. The Structuralist Program*. Reidel Publishing Company: Dordrecht, the Netherlands.
- CARRIER, M. (2002). Shifting symbolic structures and changing theories: On the Non-translatability and empirical comparability of incommensurable theories. En Ferrari & Stamtescu (eds) *Symbol and physical knowledge. On the conceptual structure of physics*. Springer; Berlin, 126-148.
- CHI, M. T. H., & ROSCOE, R. D., (2002). The processes and challenges of conceptual change. En LIMÓN, M., y MASON, L. (Eds.) *Reconsidering Conceptual Change. Issues in theory and practice*. Kluwer Academic Pub. Pp. 3-28.
- GALLEGOS, L. (2002). Comparación entre la evolución de los conceptos históricos y las ideas de los estudiantes: el modelo de la estructura de la materia. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.
- KUHN T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica, México.