COMPRENSIÓN DE CIENCIA EN PROFESORES DE LA ESCUELA SECUNDARIA. PERSPECTIVA DEL PENSAMIENTO COMPLEJO

Sergio Rodolfo Torres Ochoa
Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo
Dirección de correo electrónico: torresochoas@gmail.com

RESUMEN
Se consignan aquí los resultados de un estudio contenido en un proyecto más amplio sobre comprensión de ciencia y cultura científica en la escuela secundaria en México, en el que se diseñó, programó y operó un proceso formativo dirigido a profesores del nivel secundaria. El objetivo fue valorar si el abordaje, desde la complejidad, es capaz de acentuar cambios significativos en la comprensión de las ciencias. Los resultados mostraron que únicamente en un concepto de química fue posible detectar un cambio cognitivo relevantemente significativo. Esto significa que las concepciones alternativas permanecieron prácticamente intactas, contrario a la intencionalidad y supuesto esperado.

Palabras clave: comprensión; ciencia; profesor; complejidad; formación.

Abstract
We present the results of a study on the understanding of science and scientific culture at the secondary school in Mexico. For this a training process for teachers was designed, programmed and operated at the secondary level. The objective was to assess if the approach, following a complexity perspective, would be able to emphasize significant changes in the understanding of the sciences. The results showed that only in a concept of chemistry was it possible to detect a significant cognitive change. This means that the alternative conceptions remained practically intact, contrary to the intentionality.

Key words: understanding; science; teachers; complexity; teacher training

Torres Ochoa, Sergio Rodolfo (2017). Comprensión de ciencia en profesores de la escuela secundaria y la perspectiva del pensamiento complejo. *Saber en la Complejidad. Revista de Educación y Cultura*, Número 2, 16 p. Revista de la Universidad Pedagógica Veracruzana. ISSN 2448-5683.

Comprensión de ciencia en profesores de la escuela secundaria.
Saber en la Complejidad, N. 2. ISSN 2448-5683.

COMPRENSIÓN DE CIENCIA EN PROFESORES DE LA ESCUELA SECUNDARIA. PERSPECTIVA DEL PENSAMIENTO COMPLEJO

Sergio Rodolfo Torres Ochoa

INTRODUCCIÓN

Con el fin de evaluar la concepción de ciencia en educación secundaria se desarrolló en el Estado de Michoacán, México, un proyecto de investigación auspiciado por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, la Secretaría de Educación Pública (SEP) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

Se desarrolló una fase con profesores que participaron en un proceso formativo sobre comprensión de ciencias e interpretación de cultura científica. Se contó con la colaboración de la Escuela Normal Superior de Michoacán donde, adicionalmente, se aplicaron encuestas, se promovieron reflexiones y se hicieron observaciones sobre la actividad docente.

La perspectiva desde la cual se diseñó, desarrolló y evaluó el programa denominado: "Modificación de la comprensión de ciencia y la percepción de cultura científica con la teoría de la complejidad a través de un proceso formativo, con profesores pertenecientes al subsistema educativo de educación secundaria", fue la de un enfoque combinado de los paradigmas cuantitativo y cualitativo, siendo este último en el que recayó el mayor peso de análisis de la investigación.

El programa mencionado se estructuró bajo la perspectiva y prescripción del fundamento teórico del pensamiento complejo. Bajo esa matriz teórica, el diseño se orientó a que los docentes fueran enfrentados a cuestionamientos sobre situaciones de aprendizaje como retos intelectuales. Ello con el objeto de llevar sus saberes a involucrarse con la comprensión de la ciencia.

Se asumió como premisa que el reconocimiento lógico de estructuras proposicionales es un indicador de comprensión; ello implica la idea de que se trata de un mecanismo que permite evaluar la capacidad cognitiva. Es decir, que las definiciones conceptuales pueden diferenciarse de preconceptos (concepciones alternativas) con base en la estructura gramatical, lógica y epistemológica que guardan las primeras. En un momento del estudio los profesores fueron sometidos a procesos de discriminación: entre información presentada proposicionalmente con estructura lógica de otra que carece de ella; esto se logró con la utilización de un instrumento de valoración cognitiva diseñado exprofeso. En otro momento se comparó la capacidad de reconocimiento lógico de estructuras proposicionales sobre conceptos fundamentales de física, química y biología, diferenciada entre el inicio y el final del referido proceso formativo.

Se partió de la base teórica de que el pensamiento se nutre de ideas que el común de la gente incorpora cotidianamente. Tales ideas, ya asimiladas, actúan como verdaderas teorías implícitas o concepciones alternativas a las teorías científicas. Por ello, constituyen un obstáculo epistemológico importante para el aprendizaje de la ciencia dentro del currículum escolar (Vázquez y Manassero, 2007: 4). Lo anterior llevó a que, metodológicamente, esta parte del estudio se basara en la discriminación del reconocimiento de estructuras lógicas que posee el discurso científico sobre conceptos básicos, de aquellas ideas previas del sentido común.

El objetivo fundamental fue analizar, mediante de un proceso formativo, la influencia que tiene la intervención de lineamientos teóricos de la complejidad en la comprensión de ciencia y la percepción de cultura científica.

Se tomó en consideración el hecho de que, como señalan Schlager y Fusco, en Coto y Dirckinck-Holmfeld (2007: 144), el desarrollo profesional de los profesores es un "proceso para aprender maneras de poner en práctica el conocimiento a través del compromiso en una práctica dentro de una comunidad de practicantes". Entendida esa comunidad como marco para el desarrollo profesional de nuevas prácticas pedagógicas y diferentes herramientas tecnológicas que ayuden a los profesores a hacer frente a los requerimientos educativos. Los maestros no tienen acceso obligado al conocimiento encapsulado puesto que no participan en el proceso de su construcción, siendo usual el simplificarles el procedimiento cuando lo reciben de forma acabada y no necesariamente actualizado (Fariñas, 2006: 102). Sin embargo, mediante el reconocimiento de creencias y concepciones previas se puede ayudar a los docentes a afrontar sus propias dificultades y la de sus estudiantes en relación con el aprendizaje de las ciencias (Rodríguez, 2009: 66).

Por otro lado, los grandes avances en teorías como la relatividad, la mecánica cuántica, la genética, la biología molecular y el aprendizaje constructivista, que han traído consigo nuevas tecnologías, nos colocan ante la necesidad de mirar al mundo desde una perspectiva donde la diversidad aumenta conforme aumenta el bagaje de experiencias e intercambios que con el medio mantienen los humanos (Escalona y Fontal, 2008: 26). Esto da lugar a una nueva representación universal de lo natural y del pensamiento, menos lineal, más compleja y relacional (de acuerdo con Moraes, en Escalona y Fontal, 2008: 24).

La época de las telecomunicaciones, de la información, de la Internet, nos sumerge en la complejidad del mundo y las innumerables informaciones sobre éste ahogan nuestras posibilidades de inteligibilidad. La inter-solidaridad compleja de problemas, antagonismos, crisis y procesos incontrolados agrava la dificultad de conocer nuestro mundo. El modo de pensamiento visto desde la complejidad, atrofiado en nosotros, en vez de desarrollar la aptitud de contextualizar y globalizar, se alimenta de ingredientes múltiples, conflictivos y de crisis de los problemas planetarios; los engloba, los aventaja y, de regreso, los alimenta (Morin, 1999: 21). Todo ello en un marco donde el ser humano, en su coyuntura existencial, se encuentra ante la complejidad de una realidad que no termina de ser comprendida y ante un destino cada vez más incierto (Briceño y Ribas, 2012: 268).

En México la educación y el sistema educativo tienen como reto principal avanzar en los resultados y en la calidad del servicio educativo (Rodríguez, 2011: 11), obligadamente comprometidos con que la educación básica favorezca el desarrollo de

competencias para la vida; que garanticen en los alumnos conocimientos y habilidades, actitudes y valores; que les consientan enfrentar con éxito diversas tareas para lograr desenvolverse satisfactoriamente en cualquier ámbito en el que decidan continuar su desarrollo (Rodríguez, 2011: 39).

Desde una perspectiva teórica, comprender significa obtener una explicación de lo que se conoce, a partir de la cual se hagan predicciones que se ajusten a las pruebas disponibles (Harlen, 2003: 24). Pero también "conocer es producir una tradición de las realidades del mundo exterior. Somos coproductores del objeto que conocemos; cooperamos con el mundo exterior y es esa coproducción la que nos da la objetividad del objeto" (Morin, 1990: 154). La información se acumula, se transmite y puede utilizarse; los datos y la información son para un potencial usuario que los interprete, volviéndose valiosa sólo cuando intervienen agentes intencionales que la valoran y la incorporan a su acervo de conocimiento, con lo cual afectan tanto su visión del mundo como sus capacidades para la acción y para la transformación de su propio entorno (Olivé, 2005: 52). No puede perderse de vista además de que el conocimiento depende de múltiples condiciones socioculturales y, a su vez, condiciona esas condiciones: la cultura genera los conocimientos que regeneran la cultura (Velilla, 2002: 237).

Visualizado desde la complejidad, el ser humano es un sujeto indivisiblemente dialógico-biológico-cultural. En esa tríada existe una relación de modulación mutua e inacabable, lo cual representa la condición humana, las prácticas y todas las actividades del ser humano. Otra forma de decirlo es que, puesto que no existen realidades que puedan ser comprendidas de manera unidimensional, la complejidad dota de sentido y otorga carácter multidimensional a la realidad (Palacio y Ochoa, 2011: 834) (Morin, 1990: 100).

Teniendo visiones completas de las cosas y sin aislar los objetos unos de otros tenemos necesidad de pensar mediante lo que, desde la complejidad, se denomina constelación y solidaridad de conceptos (lo cual puede equipararse a un círculo virtuoso o ruta espiral) y que deviene un modelo megaconceptual (Morin1990: 105). Otro rasgo del pensamiento complejo tomado en cuenta a la hora del análisis y evaluación de este estudio es que, de acuerdo con Velilla (2002: 118), dispone de la posibilidad de religar el todo con la parte y la parte con el todo, así como de la posibilidad de no recaer en las trampas de la simplificación.

Bajo los argumentos anteriores, la comprensión de la ciencia puede ser ligada a un entramado de relaciones dialógicas entre sujetos que aprenden y los que promueven el aprendizaje bajo un conjunto (ilimitado pero no infinito) de conceptos que, potencialmente guían u orientan en rutas espirales de comprensión. Resulta pertinente derivar de lo anterior que, del conocimiento a la comprensión, de la cualidad de reconocimiento de ideas previas hacia la construcción conceptual, el pensamiento complejo tiene algo que decir. Y si esto es así, hay posibilidad operativa de diseñar y construir un proceso formativo que indague mecanismos (aunque básicos y con limitaciones) que develen propiedades y características de esa transición entre conocimiento y comprensión. La sistematicidad implícita, consideramos aquí, es un componente teórico valioso en los significados y las relaciones de ellos que los sujetos

construyen en actividad dialógica intencionalmente orientada bajo la perspectiva del pensamiento complejo.

METODOLOGÍA

El universo de estudio se delimitó en la Normal Superior de Michoacán, que oferta diferentes estudios en docencia y educación. Entre ellos se encuentra la Maestría Docencia en Educación Secundaria con especialidad en Ciencias Naturales. Aquí se conformó la muestra de estudio, constituida por ocho alumnos del grupo de tercer semestre quienes, voluntariamente, se adscribieron al ejercicio formativo propuesto.

Operativamente, en torno a la enseñanza y el estudio de las ciencias y el conocimiento científico, se llevó a cabo el diseño y puesta a disposición de un trayecto formativo establecido como un curso de 40 horas de trabajo presencial.

Se procuró instalar ese proceso formativo orientado al logro de una subjetivación que conlleve transformaciones en el sistema disposicional de los docentes y en la estructuración de sus formas de identificación. Esto puede ser considerado un modelo que potencialmente se desarrolle generando nuevas identificaciones para resolver distintas situaciones en el campo de acción e interacción (Yurén, 2005: 28).

Se asumió la propuesta desde la teorización de la complejidad, así como la transversalidad como práctica pedagógica; como alternativa para responder diferencialmente a la realidad (Cañas y Badilla, 2005: 2). Se consideró como un componente alternativo para atender necesidades de la comunidad, de los alumnos y de la sociedad para conocer la realidad (Cárdenas y Rivera, 2004: 132). Se buscó la fusión de diversos contextos que posibilitaran la integración de saberes, reflexionando en la contextualización y el análisis de las informaciones y los conocimientos (Morin, citado por Tello, 2006: 295).

El proceso se integró con contenidos de actualidad y relevancia social, vinculados éstos a los planteamientos centrales de las materias de ciencias de los programas establecidos en el Plan de Estudios 2011 para escuelas secundarias. Su desarrollo se programó para cinco sesiones de ocho horas cada una, en las cuales se puntualizó el análisis de fortalezas y debilidades de fenómenos pensados desde la complejidad y en la práctica educativa. Se puso énfasis en la influencia de la escuela, teniendo como eje de análisis las características o propiedades que definen a los sistemas, fenómenos o comportamientos complejos. Se procuró promover situaciones de aprendizaje que puedan ser consideradas retos intelectuales por los docentes. Esto es, que movilicen sus saberes permitiéndoles involucrarse en el aprendizaje: desarrollando, implementando y compartiendo conocimientos, habilidades, actitudes y valores que favorezcan la puesta en práctica del pensamiento complejo en el abordaje del aprendizaje de las ciencias.

Los principales ejercicios que se realizaron consistieron, en primera instancia, en una "actividad dinámica de analogías" desde la transversalidad de asignaturas y procurando involucrar alguno de los tres principios del pensamiento complejo. Es decir, que conceptos específicos de una ciencia contuvieran elementos argumentales relacionados con otra u otras ciencias. También se requirió de los asistentes un ejercicio donde cada profesor cambió enunciados simples de afirmaciones científicas a enunciados complejos.

En los cinco módulos en los que se diseñó el curso los participantes analizaron reiteradamente la importancia que tiene la aplicación, de manera integrada y complementaria, del estudio de los fenómenos desde la complejidad.

Para efectos de evaluación de la capacidad de comprensión científica se diseñó un instrumento consistente en un conjunto de reactivos o *ítems* relacionados con conceptos científicos y que fue adaptado y modificado a partir de la prueba de Shtulman y Valcarcel (2012). Se seleccionó un conjunto de conceptos que, por un lado, están contemplados en planes y programas oficiales y, por otro, aquellos pedagógicamente pertinentes de conformidad con la literatura especializada de ciencias naturales. El resultado final fue un instrumentó que contó con 34 ítems: 9 de biología, 11 de física y 14 de química.

Cada ítem correspondió a un concepto en específico a manera de pregunta y las posibles respuestas de opción múltiple fueron: una proposición aceptada científicamente, o sea, un concepto (que aquí llamaremos inconsistente-correcto: IC). Las otras tres opciones fueron relacionadas con planteamientos ingenuos o concepciones alternativas (pre-conceptos): una proposición que resulta falsa (F) tanto para la teoría científica como para los modelos ingenuos; una proposición verdadera para modelos ingenuos pero falsa en la teoría científica (inconsistente-falsa: IF) y una verdadera tanto para la teoría científica como para modelos ingenuos (consistente-correcta: CC). Esta última sigue siendo alternativa (pre-concepto) pues su información o las relaciones lógicas que contenga resultan incompletas o insuficientes.

En el caso de la química se incluyeron algunos conceptos con dos opciones correctas (C) y dos falsas (F), pues el carácter altamente abstracto de esta ciencia dificulta incorporar concepciones alternativas que tengan fundamentos en la percepción o sentido común (Pozo y Gómez, 1998; Kind, 2000). En estos casos el profesor tuvo la opción de seleccionar entre dos falsas y dos científicamente correctas para no alterar la estructura de la herramienta utilizada.

El instrumento se aplicó en dos momentos, antes y después del curso. El objetivo fue valorar el cambio en la comprensión de conceptos científicos.

Ejemplo 1:

Física; Temática: Astronomía; Concepto: Estrellas
El Sol produce gravedad (IC)
El Sol produce luz (CC)
El Sol produce sonido (F)
La Luna produce luz (IF)

Ejemplo 2:

Química; Temática: Gases; Concepto: Propiedades de los gases
El cambio de volumen de un gas se debe a la atracción de sus partículas (F)
El aire y los gases no pesan ni tienen volumen (F)
Los gases se pueden comprimir al reducir el espacio entre sus moléculas (C)
La disminución del volumen de un gas al enfriarse, es por la disminución del movimiento de sus partículas (C)

Por último, el momento de evaluación sobre interpretación de la ciencia, y su consecuente percepción cultural, incluyó dos preguntas abiertas referidas a percepción e interpretación de la ciencia y de cultura científica. Esto pretendió llegar a inferencias cualitativas, específicas y representativas mediante relaciones comparativas de elementos conceptuales, de acuerdo con lo propuesto por Campos y Gaspar (2008).

LOS RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN

Se observó al inicio del proceso que al menos teóricamente los profesores manejaban, en cierta medida, diferentes conceptos de la complejidad como la transdisciplinariedad y la no linealidad. Esto es, las situaciones de análisis y discusión (puntualización de fortalezas y debilidades) sobre la importancia del abordaje de las ciencias desde la complejidad, y mostraron evidencias de que, en general, los profesores –previo al curso- tuvieron claro el manejo de algunos planteamientos teóricos derivados del pensamiento complejo. Identificaron, en su mayoría, sistemas complejos dentro de las estructuras conceptuales de las ciencias naturales. Fueron capaces también de identificar y pormenorizar la aparición de los principios de la complejidad en el desarrollo de ejercicios didácticos.

Por otro lado, desde el inicio del curso, los profesores mostraron algunas capacidades definitorias y conceptuales del bagaje teórico propio de las ciencias naturales en el nivel Secundaria. Es decir, fueron capaces de identificar, jerarquizar y organizar apropiadamente la información teórica, en lo general, y conceptos específicos que se les presentaron en el momento del diagnóstico que se aplicó al inicio del proceso.

Ya en la dinámica operativa del curso se pidió a los maestros asistentes que elaboraran analogías de índole científica desde la transversalidad de asignaturas, explicando en cada una de ellas al menos uno de los tres principios que distinguen a la complejidad. Al final de la actividad "dinámica de analogías" fue posible observar que sólo algunos fueron capaces de elaborar analogías y no siempre fueron expresadas desde la transversalidad de asignaturas. Asimismo, la mayoría de los profesores no fueron capaces de expresar de manera coherente una explicación que justificara el uso y relación pertinente entre los conceptos utilizados en la construcción de sus afirmaciones.

En sólo una de las analogías desarrolladas fue posible observar la presencia del principio hologramático (Ejercicio 2. Átomo de hierro es a elemento hierro en estado puro, como: Respuesta 1. "Alumno en una escuela. El alumno hace la escuela, sin alumnos no habría escuela, y si no hay escuela no hay alumnos, ellos juntos hacen la comunidad escolar"). Lo anterior puede tipificarse dentro de la visión donde las partes se encuentran inscritas en el todo y el todo está en las partes (Escalona y Fontal, 2008: 26). Sólo en una de las analogías desarrolladas fue posible observar la presencia del principio dialógico (Ejercicio 2. Fotón es a onda-partícula, como: Respuesta 2. "Electrón–protón, los cuales tienen una relación entre sí para un funcionamiento acorde"), pero sin que se lograra expresar una construcción consistente con este principio en cuanto a la yuxtaposición de al menos dos objetos, procesos o sistemas, que por su aparente naturaleza se les juzga enfrentados o contrapuestos. Estando enfrentados se necesitan, siendo diferentes se complementan, teniendo un sentido opuesto se encuentran.

Durante el ejercicio pudo ser construida una analogía que alude a la necesidad de la recursividad organizacional en la complejidad, pero sin la perspectiva de la transversalidad de materias (Principio recursivo. Ejercicio 1. Ciencia es a tecnología, como: Respuesta 4. "El cuerpo humano es a sistemas. El cuerpo humano es el eje central, que para poder vivir necesita de sistemas y aparatos que en conjunto puedan trabajar bien"). Otras dos respuestas lograron ser expuestas como paradigmas de recursividad, pero insuficientemente como para comprenderla cabalmente (Respuesta 1. "Individuo es a sociedad. El individuo necesita de la ciencia para aplicar sus conocimientos. La tecnología y la sociedad están estrechamente relacionadas, aunque son independientes puesto que la sociedad se beneficia de los aportes tecnológicos. El individuo se desarrolla y forma sociedades. Respuesta 3. "Escuela es a alumnos. Uno y otro pueden existir pero carecen de sentido la ciencia y la escuela son relativamente autónomos pero no independientes de tecnología y alumnos donde se expresan como organización, la tecnología y los alumnos funcionan pero dependen de ciencia y escuela para poderse desarrollar").

Sólo una minoría logró plasmar en las explicaciones de sus respuestas que los procesos interactúan en el marco de la complejidad como una experiencia de enfoque integrador, en el que todo ilustra las partes y las partes exponen el todo. Aunque en esos casos tuvieron en cuenta los principios hologramático y recursivo, no lograron ubicarlos conceptualmente en sus afirmaciones (Principio dialógico: Ejercicio 1. Protón es a núcleo, como: Respuesta 1. "Luz es a onda electromagnética. El protón necesita de la luz y viceversa aunque son conceptos distintos. El núcleo y las ondas electromagnéticas se complementan al ser material. La luz se propaga a través de ondas electromagnéticas por medio de un espectro lumínico y aunque son acepciones distintas, uno necesita del otro" –que, a su vez, se acerca a lo hologramático y lo recursivo-).

Pese a que los profesores realizaron satisfactoriamente, en general, los ejercicios que tenían como finalidad comprender los principios que identifican a un fenómeno como un proceso complejo, no se observó que fuera posible lograr de manera pertinente y clara la tipificación de los mismos en diferentes fenómenos específicos, aun y cuando lograron expresar ideas que los caracterizan como sistemas complejos.

En otro momento del proceso se pidió a los profesores que realizaran el cambio de enunciados simples de orden científico a enunciados complejos. Se les proporcionaron 22 afirmaciones (proposiciones simples) para que pudieran escoger 4 de cada asignatura (Biología, Física y Química). Sólo una minoría logró, a partir de una base lógico-conceptual, describir, explicar y ejemplificar de manera compleja las proposiciones que se les requirió. La base del análisis de esas construcciones complejas fue la proporción entre relaciones (R) y conceptos (C): R/C. Lo esperado es una alta proporción (cercana a 1) o donde, por lo menos, R = C-1. Significa que lo esperado es que se manifieste una construcción proposicional en que conceptos y sus respectivas relaciones guarden un cierto equilibrio cuantitativo expresado en la ecuación señalada. De esa forma la argumentación pertinente será aquella que muestre una proporción equilibrada entre conceptos y relaciones entre conceptos; de otra manera, la predominancia cuantitativa de conceptos por sobre sus relaciones es indicadora de simplicidad en la argumentación, algo contrario a lo esperado (Campos y Gaspar, 2008).

Durante el ejercicio descrito arriba, en la mayoría de los enunciados construidos, los componentes semánticos no se distribuyeron pertinentemente como referencias conceptuales (C) y relacionales (R) (Campos y Cortés, 2005: 122), lo cual significa que, en esos casos, aparecieron más conceptos que relaciones disminuyendo así su capacidad semántica: los conceptos (C) pueden ser expresiones sustantivadas simples o compuestas, ya que sintácticamente denominan o definen objetos y procesos; y las relaciones (R) conexiones lógicas (formas estándares de la lógica, las formas verbales y expresiones gramaticales) en las cuales se logran asociar de manera clara los conceptos a una zona de conocimiento. Dicho de otra forma, la definición argumental de un concepto se construye con otros conceptos y las relaciones lógicas que guardan entre sí.

De esa forma, más de la mitad de las proposiciones construidas, a partir de los enunciados simples que fueron proporcionados, presentaron mayor cantidad de conceptos (C) que de relaciones (R). En algunos casos sí se observó organización de segmentos particulares de conocimiento, aunque eso se logró simplemente alargando el enunciado original y sin establecer las relaciones pertinentes: Las relaciones establecidas fueron claramente insuficientes como para catalogar a las proposiciones con estructura lógica.

Sin embargo, un apreciable porcentaje de los enunciados construidos (44%) presentaron sintaxis aceptable, es decir, contuvieron una relación lógica entre cada dos conceptos; ya sea para describir una idea relacionada con conocimientos científicos o bien para definir a uno de éstos. Esto es, se mantuvo la relación cercana a R = C-1.

En general, la disyunción gramatical "o", que bien puede ser utilizada para plantear ejemplos o ampliar descripciones, los cuales dan matiz o fluidez al discurso, no fue bien empleada y por tanto no se logró comunicar el significado temático y contextual en forma de estructuras de tipo RCR (que cada concepto pueda ser bilateralmente relacionado con otros dos conceptos).

Tabla 1: Distribución argumental (R/C) de proposiciones complejas construidas a partir de enunciados simples.

Total de enunciados = 77	Enunciados simples transformados a proposiciones complejas con R = C-1	Enunciados simples transformados a proposiciones complejas con R/C > 0.75
Biología	6	2
Física	13	2
Química	9	2
Total = 34	28	6

La Tabla 1 muestra que 28 (35%) de las proposiciones transformadas mostraron una distribución esperada de R = C-1. Un ejemplo de esta situación es: Biodiversidad es definida como la variedad de razas, especies y ecosistemas. Respuesta 1. "Biodiversidad es una gran variedad *de* ecosistemas *y* especies *de* animales *y* vegetales *que habitan* de acuerdo a sus características similares *aunque sean de* diferentes especies". Código de interpretación: *6 R* para 7 C.

La coherencia argumental en la mayoría del resto de las proposiciones fue deficiente. Sin embargo, si partimos de que la proporción, que aunque no cumpla con la fórmula R = C-1, puede aproximarse a coherencia cuando R/C es cercana a la unidad, por ejemplo, 0.75; entonces 6 proposiciones lograron alcanzar este valor (dos para cada una de las tres ciencias). Ejemplo de esta última situación: "El hígado es uno de los órganos centrales *del* aparato digestivo, gracias a él *se produce la* bilis para *degradar las* grasas. El consumo excesivo *de* alcohol, tabaco *así como* una inadecuada nutrición *hacen* que el hígado *aumente* al máximo sus funciones *trayendo* consigo una descompensación *en* la salud. La hepatitis *es* una enfermedad que *se desarrolla* en el hígado, *hace* que se desarrolle una pigmentación amarillenta *en* la piel, *debido* también al aumento *de* la bilirrubina. Código de interpretación: *15 R*para 18 C.

Es decir, son argumentaciones relativamente coherentes y, consecuentemente, de mayor complejidad a las originales planteadas. Esto da un total de 34 (44%) proposiciones transformadas con aceptable nivel de coherencia y complejidad.

El resto de proposiciones elaboradas (respuestas), que fueron 43 (56%), pueden calificarse, de acuerdo a los planteamientos señalados, como evidentemente deficientes en su coherencia argumental; es decir, de escasa complejidad. Esto quiere decir que el número de relaciones (R), en comparación con los de conceptos (C), fue pobre para cada uno de esos enunciados: proporción R/C < 0.75. Sin embargo, el panorama que se obtuvo de este ejercicio no es, necesariamente, desalentador; casi la mitad de las respuestas adquieren coherencia argumental compleja cuando un profesor, en general, transforma un enunciado científico simple en complejo, sin considerar las deficiencias detectadas.

En otro momento y con fines comparativos se aplicó a los profesores un instrumento sobre comprensión de ciencia tanto al inicio como al concluir el curso. Prueba en la que cada reactivo o ítem posee 4 opciones como respuesta y que fueron agrupadas como: Inconsistente Correcta (IC); Consistente Correcta (CC); Inconsistente Falsa (IF) y Falsa (F). Siendo las IC aquellas que poseen tipologías de evidencia de capacidad cognitiva, ya que reúnen características de coherencia: gramatical, lógica y epistemológica; por tanto, son argumentaciones de orden científico. Las CC se consideran alejadas de referente epistemológico por su aparente correlación con la observación empírica o sentido común (percepción): Información insuficiente como para establecer relaciones que acudan a conflicto cognitivo y consecuente comprensión cognoscitiva. De esa manera las estructuras discursivas IC son las únicas aceptadas como no alternativas, es decir, estructuras argumentales propias del discurso científico: falso para el sentido común y válido para la ciencia.

Los datos arrojados por la herramienta arriba descrita, no mostraron diferencias significativas en cuanto a la modificación de la comprensión de la ciencia una vez concluido el proceso de formación. Lo anterior sugiere que la comprensión de ciencia llevada al discurso dista de un cambio cognitivo al incorporarse a un proceso formativo.

Los resultados se distribuyeron así:

1) Ítems con altas frecuencias de CC. La aplicación de la herramienta en calidad de diagnóstico, mostró que un solo ítem de biología, de la temática de Fisiología: Vida

y dos de física (Termodinámica: Temperatura; Materia: Masa), más de la mitad de los profesores optaron por CC.

2) Ítems con alta frecuencia de IC: en 1 ítem de biología, de la temáticas de Genética: Mutación y 3 de física (Mecánica: Fuerza y momento; Ondas: Luz), la mayoría de los profesores mostraron desde el diagnóstico un reconocimiento de comprensión de estructuras gramaticales concernientes a teorías científicas, es decir, seleccionaron la opción IC. Estos datos permiten inferir, con alta probabilidad, de que la información pertinente que ya se trae, por parte de algunos profesores del curso, es de orden memorístico. De otra manera, se esperaría que la intervención docente, desde la perspectiva de la complejidad, hubiera promovido a conflicto cognitivo al resto de profesores, cosa que no ocurrió al concluir el curso y cuando se aplicó el instrumento en calidad de post-prueba comparativa.

3) En el caso de la química, como se explicó más arriba, se optó por disponer las opciones entre correctas (C) e incorrectas (F). Esto es, las percepciones en la química parecen no otorgar elementos de comprensión científica a un sujeto que tiene en éstas su principal fuente de información. De esa forma las concepciones químicas sólo pueden ser correctas o incorrectas de acuerdo a su cercanía o alejamiento de la información científicamente pertinente (con alto grado de abstracción). Hay autores que avalan esta posición de análisis conceptual (Kind, 2000).

La mayoría de los profesores optaron desde el diagnóstico por (C) en 9 de los 14 ítems de química: Propiedades de las partículas; Propiedades de líquidos y gases; Propiedades físicas del agua; Generalidades; Elementos, Mezclas y compuestos; Reacciones químicas; Estados de agregación; Análisis dimensional y Temperatura. Como en el caso de la biología y la física la inferencia probable es que el conocimiento es de orden memorístico. Si no fuera así el impacto del curso tendría que promover a cambio cognitivo, situación no observada en los profesores objeto de estudio y al aplicárseles el instrumento en calidad de post-prueba.

4) Cambio conceptual pertinente. Al concluir el curso y aplicarse el instrumento en calidad de post-prueba, el único ítem del instrumento que pasó de F a C fue el de Propiedades de los gases (química), al pasar de una sola respuesta correcta, durante el diagnóstico, a más de la mitad de respuestas científicas en el post. Se trata del único ítem que mostró evidencias de que el proceso desarrollado fue suficientemente pertinente como para modificar la capacidad de reconocimiento de estructuras lógicas.

5) Conceptos que no se modificaron (refractarios). Una vez desarrollado el proceso formativo todos los ítems (de física, química y biología), excepto el referido arriba, permanecieron invariantes respecto de modificarse de concepción

alternativa hacia concepto científico (IC). Ninguno de los ítems de biología o física mostró cambio hacia IC.

Es de destacarse que, en los casos de los ítems de biología: Evolución (Ascendencia común) y Gérmenes (Contaminación) y física: Astronomía (Estrellas), las respuestas inconsistentes-falsas (IF) y falsas (F), con mayoría en la prueba diagnóstica, disminuyeron en la post prueba, favoreciendo cuantitativamente, en la post-prueba, a la opción CC. Esto es probablemente un indicativo de que el proceso formativo influyó para promover información no pertinente o insuficiente, lo cual no permitió el desarrollo de conflicto cognitivo: el no establecimiento de relaciones lógicas y epistemológicas mínimas para favorecer la comprensión científica.

En el caso del concepto Propagación (Ondas) de física el número de IF incrementó en la post-prueba. Ello indica que, con gran probabilidad, la información manejada desde la complejidad introdujo elementos de confusión que no lograron derivar el cambio hacia IC, lo cual es indicativo también de que el conflicto cognitivo puede quedarse en simple confusión epistemológica o argumental.

6) El conjunto de reactivos calificados como falsos, además de que no presentan evidencias de reconocimiento de estructuras lógicas –ni epistemológicas-, no mostraron en el estudio cambios significativos a partir de la proceso de intervención. Los docentes no poseen un bagaje crítico de comprensión de ciencia específicamente en estos reactivos, implicando insuficiencia en información previa y consecuente confusión conceptual que dificulta relacionar cognitivamente una nueva información. Aparentemente es éste el verdadero problema a enfrentar en la asimilación cognitiva y no el abordaje de la complejidad en sí mismo. Los sujetos que optan por F ni siquiera recurren al sentido común para conformar la información necesaria en la identificación de la respuesta. El que la frecuencia de F siempre fue escasa no deja de llamar la atención sobre el hecho de que un profesor de secundaria no sea capaz de buscar componentes básicos conceptuales, y sus respectivas relaciones, por lo menos en fuentes de información puramente empíricas.

A manera de conclusión es posible afirmar que las bases conceptuales presentadas desde la complejidad no fueron capaces de llevar hacia el círculo virtuoso de Morin las graves fallas en las fuentes de información y la poca capacidad para establecer relaciones lógicas en la construcción argumental científica. Se infiere así que las diferentes estrategias de trabajo utilizadas para abordar las ciencias desde el enfoque de la complejidad no hicieron posible la modificación de la capacidad de reconocimiento de estructuras lógicas científicas.

Los datos cuantitativos obtenidos dan claras evidencias de que, en general, hay escasa comprensión de conceptos científicos y que esta deficiencia persiste luego del proceso formativo desde la complejidad. Apenas un concepto de química logró mostrar eficacia, en cuanto a cambio cognitivo, entre antes y después del curso. Algunos de los

conceptos manejados dentro del instrumento de valoración cognitiva mostraron evidencias de comprensión antes del iniciar el curso. Sin embargo, pudo detectarse que se trata, en su gran mayoría, de conceptos refractarios al cambio, por lo que es de preverse que su comprensión previa descansa en aprendizaje memorístico.

Hubo marcadas deficiencias a la hora de transformar proposiciones científicas simples en complejas. Hay que reconocer que este tipo de ejercicio presentó doble dificultad: el manejo de principios y concepciones desde el pensamiento complejo, por un lado, y el manejo conceptual científicamente pertinente de los conceptos y relaciones involucrados en cada proposición o enunciado. Es probable que haya correlación, doblemente alimentada, entre escasa comprensión de conceptos científicos y la construcción argumental sobre ciencias. El establecimiento de relaciones lógicas que exige la construcción del discurso científico –y que se expresa en definiciones a manera de proposiciones- tiene conexión directa con la estructura gramatical en que el lenguaje correctamente utilizado permite la decodificación de un argumento científico.

Es de esperarse que la argumentación científica sea la traducción objetivable de la construcción cognitiva de conceptos científicos. La labor pedagógica no tiene alternativa; el abordaje docente de las ciencias no tiene más que recurrir a la labor argumental. En consecuencia, así como el profesor construye su propia concepción científica, articulando relaciones lógicas y epistemológicas, en esa misma medida tiene que comunicar, ponderar y evaluar, las concepciones científicas de sus alumnos.

Así pues, los resultados de aplicación del instrumento de valoración cognitiva, antes y después del curso, mostraron congruencia interpretativa con lo observado en la capacidad de elaboración de proposiciones de carácter complejo en ciencias. En un caso hay deficiencias que refuerzan las del otro, en una interacción transversal o círculo no virtuoso que llega al aula. Las consecuencias, con infortunio, se reproducirán en la asimilación cognitiva de conceptos científicos y argumentación científica de los alumnos de la secundaria y esto es una real y desafortunada construcción cultural en la escuela.

La construcción de un círculo virtuoso para romper las deficiencias señaladas, como marca atinadamente la visión desde la complejidad, está necesariamente en los procesos de formación docente y en los de actualización científica. De preferencia, y bajo los postulados de este estudio, desde la perspectiva del pensamiento complejo pero, en ausencia, por lo menos en la formación epistemológica básica que el nivel secundaria exige, incluso desde una perspectiva tradicional de la ciencia.

La postura aquí asumida de tomar como relevantes, en el instrumento de valoración cognitiva, algunos conceptos por sobre otros, resulta secundaria para la problemática de investigación planteada. Así, carece de importancia si la química (o ciertos conceptos de ella) es más importante, cognitivamente, que la física o la biología. Lo realmente importante es la capacidad de comprensión de conceptos básicos de las tres ciencias, en lo general, que atañen a la educación secundaria. Si esto se toma en cuenta es posible el diseño pertinente de procesos formativos que combinen la comprensión de ciencia y la capacidad de comunicación científica.

Una herramienta clave para apoyar el logro de estos propósitos es que profesores y alumnos sean capaces de establecer relaciones lógicas entre conceptos en un proceso

formativo en espiral. La elaboración de enunciados científicos complejos y de definiciones de ciencia y de cultura científica por parte de profesores y alumnos en la escuela secundaria apuntan en esa dirección.

CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

La teoría del pensamiento complejo ofrece una alternativa para realizar procesos de formación docente. Hay expectativa teórica de que esta teoría impulsa y favorece la profesionalización de los docentes desde la reflexión de su práctica educativa, el intercambio académico, la autoevaluación y el trabajo colaborativo. Lo que pudo observarse durante el estudio es que potenció el desarrollo de competencias genéricas y específicas pertinentes al proceso formativo. Se logró detectar cierta conciencia de que el desarrollo del pensamiento complejo es un medio para la constitución de un modo de abordar la ciencia; un mecanismo alterno y novedoso para superar el conjunto de creencias erróneas en torno a la ciencia, la enseñanza de las ciencias y el conocimiento científico en sí mismo.

En cierta forma es posible señalar, como experiencia del curso, que éste tiene cualidades que acercan a los profesores a la comprensión crítica e integral de la ciencia. Hubo reflexión positiva acerca de la relevancia social que incide en el contexto escolar. Eso pudo revelarse parcialmente al observar capacidad de situar de manera pertinente la información en su contexto.

Al desarrollarse mecanismos con búsqueda de aprendizaje cooperativo hubo reconocimiento explícito del valor de trabajar en conjunto y de comprometerse y responsabilizarse con su aprendizaje y el de los demás. Sin embargo, no fue posible lograr alguna modificación pertinente de asimilación cognitiva (aprendizaje) de apreciación y percepción sobre concepciones científicas. Sin contar con elementos explicativos suficientes es posible aventurarse a afirmar que hay fuerte resistencia hacia el estudio de los fenómenos desde el punto de vista de lo inextricable, el desorden, la ambigüedad y la incertidumbre.

Difícil también resultó la construcción de la comprensión integral de la ciencia desde una noción hologramática, vista como tejidos de eventos, acciones, interacciones, retroacciones, determinaciones y azares, en fin, un proceso complejo. No en todos los casos fue posible el reconocimiento de que el todo se encuentra inscrito en cada una de sus partes. Fueron poco exitosos los ejercicios que relacionan las concepciones asociadas al aprendizaje de las ciencias con el pensamiento complejo. Probablemente gran parte de ello estriba en que se requiere de tiempo prolongado y constante práctica para el logro de lo buscado.

Una inmediata sugerencia surge de estos datos y resultados. Constituir y construir líneas de investigación de y hacia la formación pedagógica sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias desde la complejidad. Abordar consecuentemente, desde la complejidad, formatos y programas intensivos y de largo aliento que ataquen problemas de asimilación cognitiva, de comprensión de ciencia y de interpretación de la cultura científica que, cada sector escolar, cada región geográfica, cada grupo social, reclaman como un derecho social de alfabetización: la científica. Las diversas investigaciones que atañan a estas

problemáticas tendrán que ser integradoras, transversales e interdisciplinarias. La escuela secundaria es un buen comienzo, por la naturaleza neurobiológica y cognitiva de estos alumnos, pero es urgencia pedagógica estratégica que se proyecte a niveles educativos previos y posteriores.

REFERENCIAS

Briceño, J. y Ribas Y. (2012). La realidad que envuelve el ser desde la perspectiva del pensamiento complejo. *Educere*, 16(55),267-271. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=35626140005

Campos, M. A. y Cortés, L. R. (2005). El contenido epistemológico del conocimiento de estudiantes de biología en secundaria, en Campos, M.A. (Coord.) (2005). *Construcción de conocimiento en el proceso educativo*. México: UNAM-CESU-Plaza y Valdés.

Campos, M. A. y Gaspar, S. (2008). Procesos de argumentación y habilidades cognoscitivas en el contexto educativo, en Campos, M. A. (Coord.)(2008). *Argumentación y habilidades en el proceso educativo*. México: UNAM-IISUE-Plaza y Valdés.

Cañas, A. J. y Badilla, S. E. (2005). Pensum no lineal: una propuesta innovadora para el diseño de planes de estudio. *Actualidades Investigativas en Educación*, 5, 1-20. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44759902

Cárdenas, R. M. L. y Rivera, R. J. F. (2004). La teoría de la complejidad y su influencia en la escuela. *Teoría y Didáctica de las Ciencias Sociales*, (9),131-141. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=65200908

Coto, C. M. y Dirckinck-Holmfeld, L. (2007). Diseño para un aprendizaje significativo. *Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 8(3),135-148. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=201017307007

Escalona, T. J. A. y Fontal B. (2008). El paradigma del pensamiento complejo en la didáctica de la química: una visión desde el átomo a la materia. *Educere*, 12(40), 23-29. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=35604004

Fariñas, L. G. (2006). Desarrollando el pensamiento complejo. *Tiempo de educar*, 7(013),99-12.Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31171305

Harlen, W. (2003). *Enseñanza y aprendizaje de las ciencias*. Madrid: Ediciones Morata.

Kind, V. (2000). *Más allá de las apariencias, ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química.* México: Santillana.

Morin, E. (1990). *Introducción al pensamiento complejo*. París: Gedisa.

Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Recuperado de http://www.unmsm.edu.pe/occaa/articulos/saberes7.pdf

Olivé, L. (2005). La cultura científica y tecnológica en el tránsito a la sociedad del conocimiento. *Revista de la educación superior*, 34(136), 49-63. Recuperado de www.ses.unam.mx/curso2010/pdf/M1S1-Olive.pdf

Palacio, G. C. A. y Ochoa, J. F. L. (2011). Complejidad: una introducción. *Ciencia &SaúdeColetiva*, 16(1), 831-836. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63018473014

Pozo, I. y Gómez, A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.

Rodríguez, G. J. M. (2009). Cambios metodológicos relacionados con el aprendizaje de las ciencias. *Educación*, 33(1), 61-73. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44015082005

Rodríguez, G. L. F. (Ed.) (2011). *Programas de estudio 2011. Guía para el maestro. Educación básica. Secundaria. Ciencias*. Recuperado de http://nivelacionplandeestudio2011.files.wordpress.com/2011/09/cienciassec11.pdf

Shtulman, A. & Valcarcel, J. (2012). Scientific knowledge suppresses but does not supplant earlier intuitions. *Cognition. 124*(2), 209-215.

Tello, C. (2006). Formación docente y conocimiento. Un binomio en crisis: el caso Argentino. *Educere*, 10(33), 293-301. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=35603313

Velilla, M. A. (Ed.) (2002). *Manual de iniciación pedagógica al pensamiento complejo*. Recuperado de http://online.upaep.mx/campusTest/ebooks/ManualIniciacion.pdf

Yurén, C. T. (2005). Ethos y autoformación en los dispositivos de formación de docentes. En Yurén T., Navia, C. y Saenger, C. (Eds.), *Ethos y autoformación del docente. Análisis de dispositivos de formación de profesores*. Cd. Nezahualcóyotl: Pomares.