

EL PARADIGMA DEL PENSAMIENTO COMPLEJO EN LA DIDÁCTICA DE LA QUÍMICA: UNA VISIÓN DESDE EL ÁTOMO A LA MATERIA

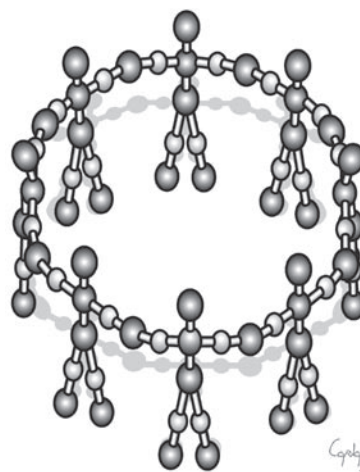
JOSÉ A. ESCALONA TAPIA*

cieduc@ula.ve
Escuela de Educación.

BERNARDO FONTAL**

bfontal@hotmail.com
Escuela de Ciencias.
Universidad de Los Andes.
Mérida, Edo. Mérida.
Venezuela.

Fecha de recepción: 3 de mayo de 2007
Fecha de aceptación: 2 de octubre de 2007



Resumen

Los nuevos enfoques de la pedagogía química añaden estrategias variadas que pretenden superar el tradicional modelo pasivo de enseñanza y sus connotaciones simplistas. Por esto, el presente ensayo aborda la temática de la materia y el átomo desde el paradigma de la complejidad como una experiencia metodológica que tiene por finalidad principal abordar el trabajo de aula con un enfoque integrador en el que el todo ilustra las partes y las partes exponen al todo. Se ambiciona reflejar, desde la química, la forma en que los contextos cotidianos van más allá de las identidades simples y cerradas, superan las meras individualidades y trascienden las leyes generales que pretenden dominar el mundo de la materia.

Palabras clave: pensamiento complejo, átomo, materia y didáctica.

Abstract

*THE PARADIGM OF COMPLEX THINKING IN CHEMISTRY PEDAGOGY:
A VISION FROM THE MATTER'S ATOM*

The new approaches of chemistry pedagogy add varied strategies that aim to overcome the traditional passive model of teaching and its simplistic connotations. Because of this, the following essay takes on the topic of the matter and the atom from the paradigm of complexity as a methodological experience which goal is to tackle classroom work with an integrative approach in which the all illustrates the parts and the parts display the all. It is aimed to reflect, from chemistry, the way contexts go beyond simple and closed identities, are more than mere individualities and transcend the general laws that pretend to dominate the world of matter.

Key words: complex thinking, atom, matter and didactics.



Stephen Hawking, parafraseando a Einstein, concluye que este último estaba equivocado cuando afirmó que “Dios no juega a los dados”, puesto que los estudios más recientes sobre la emisión de partículas y agujeros negros permiten crear la sospecha sobre la cual Dios no solamente juega a los dados, sino que, en ocasiones, los juega donde nadie habría podido imaginarlo (Hawking, 1988). Las palabras del célebre físico británico evidencian la magnitud de la revolución socio-científica que recorrió el siglo XX e inunda los inicios del XXI. En efecto, la seguridad occidental en el progreso indefinido y simple de la ciencia, mediante la innovación tecnológica y el dominio de la naturaleza ha sido duramente cuestionada desde la publicación, en 1972, del primer Informe del Club de Roma sobre los límites del crecimiento, hasta una de la más recientes Cumbres de la OMC en Cancún, pasando por la Cumbre sobre Desarrollo Sustentable de Johannesburgo en el 2002, entre otras. Esa confianza ilimitada en la ideología del progreso comenzó a resquebrajarse con la aparición de las nuevas teorías que desde el campo de las ciencias destruyeron los postulados básicos sobre los que se construyó la racionalidad moderna. Relatividad, mecánica cuántica, genética, biología molecular, aprendizaje constructivista y complejidad han dado lugar a una nueva representación universal de lo natural y el pensamiento, un tanto alejada de los cánones de la visión derivada de la filosofía de Kant (Morales, 2000). Del universo infinito y estático característico de la época moderna se ha pasado al universo dinámico y en aparente expansión de las revoluciones relativista y cuántica. De la naturaleza regida por leyes deterministas, derivadas del carácter universal de la ley natural de causalidad, se ha pasado a una concepción de la naturaleza articulada sobre la base de los procesos complejos, en los que el carácter probabilístico de los fenómenos cuánticos afecta no sólo al ámbito físico del microcosmos y del macrocosmos, sino también, a los propios procesos biológicos, como consecuencia de la trascendencia de los procesos bioquímicos en los organismos vivos (Morin, 1996). Tal representación determinista, en la época moderna, fue articulada en tres grandes postulados de espacio, tiempo absoluto y causalidad estricta, que parecen ser reemplazados por una nueva racionalidad que, desde el paradigma de la complejidad, debe ser capaz de integrar de forma coherente y consisten-

te el azar, el orden, las partes, el todo y las causas con sus efectos, fundada principalmente en la necesidad de comprender el mundo no como un conjunto de eventos, sino como un sistema de procesos que interactúan constantemente. No obstante, resulta oportuno aclarar que hablar de complejidad no implica complicación o confusión, la complicación es tan solo un elemento de la complejidad. La complejidad implica: encontrar un desorden necesario para el orden, atribuir las partes a un todo que únicamente existe cuando aquellas están presentes y viceversa, pero sobretodo entender que las causas de un fenómeno terminan siendo, al mismo tiempo, los efectos (Morin, 1993). Estos nuevos postulados representan más que un marco de referencia para la enseñanza actual de las ciencias, son en realidad un reto de inconmensurables posibilidades que por un lado puede dar un dinamismo único al proceso docente, pero por otro lado, exige un marcado trabajo de actualización y el abordaje del trabajo cooperativo como estrategia de desarrollo del proceso de enseñanza (Morales, 1997). En este marco, entendemos que la situación general de la enseñanza de la química demuestra ser muy deficiente, dado que persiste la confusión sobre sus fines y orientaciones, lo que se suma a la incertidumbre, en el plano curricular, con relación a objetivos, programas, contenidos y métodos. Ciertamente, la reformulación de contenidos y métodos es prioritaria, ya que ellos definen el acto educativo, pero debe entenderse que se trata de un proceso en el que inciden múltiples factores que aportan complejidad a un proceso que tradicionalmente ha sido tratado como algo simple y factual. Este debate parece estar por darse, y por ello en las siguientes líneas trataremos de exponer una visión sobre el paradigma de la complejidad aplicado a la temática química, específicamente en lo relativo al átomo y la materia.

1. El paradigma de complejidad, la otra cara de la moneda

Aunque los postulados de este paradigma parecieran nuevos, se les puede ubicar solapadamente en la tradición literaria anti-simplista y anti-determinista de muchos años atrás. Las obras de Dickens, Voltaire, Rousseau reflejan como la humanidad en sus contextos cotidianos va mucho más lejos de las identidades simples y cerradas, de las meras individualidades y las puras leyes generales (Morin, 1996). Del mismo modo, en nuestras propias fronteras, Rodríguez, Bello y Gallegos patentizan que la aparentemente simple cotidianidad humana implica seres individuales cumpliendo diversos roles sociales, donde cada ser puede tener una multiplicidad de personalidades en sí mismo, de acuerdo con las relaciones establecidas en soledad, con los amigos, el trabajo y lo desconocido. Durante el siglo XIX –y gran parte del XX– se mantuvo un ideal de universo en forma de una máquina determinista perfecta bajo los planteamientos de Laplace, que



pese a negar la existencia de Dios, otorgó los atributos de la divinidad a su concepción de máquina perfecta, como son perfección, orden absoluto, inmortalidad y eternidad. Pero, lamentablemente para Laplace, ese mundo termina por desordenarse y evolucionar, bajo las presiones de las complejas posturas paradigmáticas de la ciencia (Lakatos, 1982). Obviamente la posición de Laplace y de otros científicos posteriores responde a un paradigma anterior a la complejidad, la simplicidad que pretende poner orden al universo, separando lo que está ligado –disyunción– o bien unificando lo que es diverso –reducción– (Morin, 1999). Ejemplo de esto, es el átomo que es al mismo tiempo un ente físico y químico, con masa y energía que configuran sus propiedades de interacción para formar sistemas químicos complejos, que en algunos casos terminan constituyendo procesos biológicos. Pero la doble realidad física y química obliga a desunirlas y se la presenta como una entidad física caracterizada por sub-partículas mantenidas bajo cierto orden estructural que responde a principios de energía, mientras los químicos perciben una entidad capaz de unirse con otras en estructuras mayores que definitivamente presentan características disímiles de aquellas que les dieron origen, aunque ordenadas bajo singulares reglas universales de condensación. Así, puede entonces estudiarse el átomo físico en un laboratorio de partículas y el átomo químico es analizado en un laboratorio de química bajo las incidencias de otros átomos que pueden reaccionar con él (Morin, 1996). Pareciera olvidarse que uno es, al mismo tiempo, el otro, que el átomo no existe sin él mismo, si bien puede ser tratado con conceptos diferentes de una misma realidad. Esa voluntad de simplificar el conocimiento científico tuvo por misión develar la ingenuidad escondida tras la cortina aparente de la multiplicidad y el desorden de los fenómenos naturales. Por supuesto, tal obsesión simplista ha conducido por el camino de encontrar los bloques de construcción del universo, identificar la unidad alrededor de la cual se forman todas las estructuras conocidas... el átomo, que, lejos de lo anterior, ha terminado siendo hoy una entidad difusa, compleja, que no ha podido ser aislada en sí misma, es decir, su aislamiento sólo ocurre en presencia de otros átomos que lo aíslan. Quizás, sin saberlo, en busca de la simplicidad hemos acabado descubriendo lo complejo y esa complejidad nos ha llevado por la aventura científica de los descubrimientos imposibles de ser logrados bajo la tutela de la simplicidad. Al final, los científicos se han topado con una paradoja en la que terminaron creando su propio Dios perfecto y eterno, el universo, y es que lo complejamente simple ha acabado siendo simplemente complejo. En el paradigma de la complejidad los fenómenos desordenados son, en cierto modo, necesarios en la funcionalización del orden, como argumento, tenemos que el tremendo desorden de la región electrónica es necesario para la existencia del átomo, de existir éste. Incluso parece haber cierta aceptación del desorden en los sistemas físicos, químicos o biológicos, al punto que la relación mutua entre el orden y el desorden aparentemente va

en aumento en la medida que se acrecienta la complejidad, en los seres humanos, por ejemplo (Morin, 1993). De este modo, el incremento de la complejidad constituye un camino hacia la autoorganización de las propias determinantes y finalidades que no implican, para nada, la independencia, cuando mucho, la autonomía de un sujeto que provisoriamente sigue siendo objeto. Y es que, sorpresivamente para muchos, sólo se puede ser sujeto ante otros sujetos que son objetos, por ejemplo, el átomo existe en la materia, nunca sin ella –es decir, ante otros átomos– y ésta se vale del átomo para poder exhibir su materialismo que siendo diferente de los factores energéticos, son similares. Visto esto, Morin (1996), agrega que podemos estar condenados a un pensamiento completamente carente de certidumbre, cercenado de aberturas, puesto que la generalización del pensamiento complejo deja libre muchas puertas y crea otras tantas que se complementan entre sí para darle un gran dinamismo multidimensional a la conciencia. En el caso del átomo, podemos explicar su existencia en razón de leyes físicas que justifican su comportamiento químico y su inquietante conformación de estructuras biológicas, pero los estudiantes y muchos de nosotros solemos preguntar: ¿cómo es que los electrones siendo relativamente libres, no existen solos? ¿Por qué las masas de dos partículas subatómicas son tan diferentes, si tienen igual carga de diferente signo? ¿De qué modo los átomos pueden recordar sus funciones en sistemas biológicos, por ejemplo, en la ejecución de la memoria? Estas y otras cuestiones seguramente pueden ser resueltas, pero al explicar las respuestas aparecerán otras situaciones que nos conducen a un nuevo principio y éste al siguiente (Laszlo, 1997). En tal sentido, la conciencia de la complejidad no atañe a la totalidad, se alimenta de la incertidumbre para hacernos comprender que no podremos jamás poseer un saber total, lo cual como propuesta pedagógica resulta, cuando menos, interesante.

2. Principios de complejidad en la química

Pensar en complejidad implica orientar la discusión hacia las fronteras borrosas de los mega-conceptos donde las definiciones no intentan definir, ni los conceptos pretenden conceptuar. Se trata, simplemente, de pensar en forma compleja sobre aquellos conocimientos que tradicionalmente hemos querido hacer simples o, mejor aún, introducir el conocimiento complejo en el pensamiento simple (Morin, López y Vallejo, 2000). Esta tarea puede ser abordada desde los principios de complejidad definidos por Morin, en los que la dialéctica, los recursos organizacionales y los hologramas mentales marcan los canales de acción, aunque nunca pretenden hacer una acción canalizada en el sentido estricto de la frase (Morin, 1996). Es, en esencia, una manera de hacer interactuar los procesos para su eventual explicación en el marco de la complejidad.



El **principio dialógico** supone la yuxtaposición de, al menos, dos objetos, sujetos, procesos o sistemas que por su aparente naturaleza se les juzga enfrentados o, cuando menos, contrapuestos. De acuerdo con el principio dialógico, la yuxtaposición funciona de una forma que pudiera parecerse exótica si la concebimos bajo la lente del pensamiento positivista, puesto que estando enfrentadas se necesitan, siendo diferentes se complementan, teniendo un engañoso sentido opuesto se encuentran. De ese modo, la dialógica permite mantener la unidad en el seno de la dualidad, logrando que el desorden sea el centro de interés para el orden. Ejemplo de ello, lo encontramos en el átomo, puesto que los protones siendo de carga positiva –cargas iguales se repelen, dice la regla– se agrupan de una forma sorprendentemente coordinada en el núcleo, logrando una proeza dinámica sin parangón que es allanada por los neutrones, pero agudizada en términos de masa y volumen, ya que los protones ocupando un lugar extravagantemente diminuto, tienen la mayor parte de la masa; del otro lado, los electrones de carga negativa abundan en regiones relativamente inciertas aunque definibles en la inmediaciones del núcleo, ocupando un amplio volumen sin representar mucho en lo que a masa se refiere. Pareciera, pues, que fuerzas extrañas operan para que aquello que es muy masivo pase desapercibido volumétricamente, y lo volumétricamente tangible sea másicamente despreciable... es como pretender reducir un camión de doce ejes al tamaño un alfiler usando pétalos de rosas. Dicho de otra manera, hay dos lógicas: una, la de partículas diminutas que aseguran la existencia másica de la materia, y otra, que asegura un espacio en el universo para la materia, espacio que curiosamente suele estar vacío la mayor parte del tiempo. Sin duda, estos dos principios no están simplemente dissociados, son necesarios uno para el otro.

La **recursividad organizacional** rompe con el paradigma positivista de causa-efecto y sus demás ámbitos lineales, dado que plantea la necesidad de que todo producto sea productor en una forma sostenible, es decir, autoproducir. Esto es como una cadena sin fin, en la que cada cabo de la cadena es producido y al mismo tiempo productor. La recursividad organizacional aduce al todo, sin despreciar las partes, integra las partes sin formar el todo, se comporta como vasos medio llenos o medio vacíos interconectados, si uno tiende a llenarse, el otro tiende a vaciarse y viceversa (Sánchez, 1992). Esta idea es muy válida en el caso de la constitución de la materia, puesto que la materia es producida como consecuencia de las interacciones entre los átomos, pero la materia, una vez producida, actúa sobre los átomos para producirlos. De no existir la materia, con sus propiedades y características, no existirían los átomos. Expresémoslo de otro modo, los átomos producen la materia que produce los átomos, son, a la vez, productos y productores.

El **principio halogramático** plantea que las partes están en el todo y el todo está en las partes, trascendiendo

al holismo que sólo ve el todo y al reduccionismo que no ve más allá de las partes. Es una idea aparentemente paradójica que deja de lado el principio lineal, para enlazar la lógica recursiva del producto –el todo– y el productor –las partes– con el recurso dialógico que interconecta las partes –el productor– con el todo –el producto– en una suerte de duplicidad unitaria. Desde el punto de vista educativo, se puede expresar que el conocimiento de las partes enriquece el todo, mientras que el conocimiento del todo enriquece las partes (Pérez, 1996). En el caso de la química, cada átomo contiene toda la información necesaria para identificar la materia y ésta contiene todo lo posiblemente identificable en el átomo; un átomo de hierro se comporta como tal, y el elemento hierro en su estado puro representa al átomo de hierro a escala macroscópica, puede que algunas cosas, desde la mera percepción, varíen, pero la esencia se mantiene.

3. La complejidad en la didáctica de la química

Vivimos tiempos donde la diversidad aumenta conforme aumenta el bagaje de experiencias e intercambios que con el medio mantienen los humanos. Son múltiples las experiencias en el escenario educativo e incluyen, entre otras cosas, una historia escolar, gran cantidad de relaciones cognitivas y afectivas con el propio hecho de aprender, papel protagónico de los medios de información, disímiles enfoques y metas con relación a los aprendizajes escolares, variadas expectativas de éxito o fracaso académico... En fin, todo un conjunto de factores que marcan de manera decisiva, no sólo los significados que los alumnos van a construir gracias a la enseñanza, sino también, el sentido que van a atribuir a su propio aprendizaje en el contexto específico. En este sentido, parece posible afirmar que el enfoque de la didáctica de la química, como sistema complejo, puede considerarse una alternativa fecunda para mejorar las diversas prácticas educativas, sobre todo, cuando se trata de descifrar algo tan tácito y misterioso como la materia. Esto es, a nuestro modo de ver, una respuesta pertinente para la diversidad de capacidades, intereses, motivaciones, deseos... que muestran los alumnos en cualquier nivel educativo. Plantear la didáctica de la química como un sistema complejo, supone esencialmente la estructuración de situaciones de enseñanza y aprendizaje suficientemente variadas y flexibles como para posibilitar, que en el marco concreto en el que se dan las situaciones formativas, el mayor número posible de alumnos acceda en el mayor grado posible al conjunto de capacidades, competencias y valores que señalan las intencionalidades para los niveles educativos que atañen a este conocimiento (Wagensberg, 1985). Por ejemplo, la materia, su estructura y el átomo no pueden ser solamente planteadas desde el pizarrón, debe darse cabida a situaciones como comparación de elementos y sustancias, observación de cambios fisicoquímicos, manipulación de



propiedades, análisis de usos y funciones, entre otras. En términos más abarcativos, supone elaborar y estructurar en las instituciones educativas otras formas de diseño, de organización, de planificación, desarrollo y seguimiento de actividades y procedimientos lo más diversas posible, que ofrezcan a los alumnos diferentes puntos de articulación y conexión, y que además favorezcan su implicación y participación en los procesos que esta ciencia involucra (Arroyave, 1999). También, que se faciliten diferentes tipos y grados de ayuda en la realización de actividades, que estimulen la autonomía de los alumnos y la adopción por su parte, de un rol cada vez más activo en la gestión y el control de su propio aprendizaje, y finalmente, donde sea posible, evaluar de manera permanente los procesos, sus niveles y dimensiones; por ejemplo, el átomo como concepto puede tener poca importancia, pero si se parte de átomos de uso diario como el aluminio se puede problematizar su estudio en la escuela, en el hogar, la industria local, el ambiente, etcétera. La caracterización y dinámica que se propone en este enfoque como un sistema complejo es algo consustancial a la propia actuación habitual de los alumnos y docentes en las instituciones y en las aulas en particular: reflexionar e investigar, desde su propia práctica para plantear nuevas formas interactivas en los procesos de formación, de tal manera que todos logren lo intencionado en el currículo común, aprender. De la misma forma, se asume la existencia de la diversidad en las aulas y en las instituciones educativas en general, como una realidad que se convierte en el punto de partida para los procesos de enseñanza y aprendizaje, pues realmente, encontrar alumnos diversos, como seres humanos que son, es habitualmente lógico en cualquier situación educativa; lo verdaderamente excepcional sería justamente lo contrario. En otro sentido, responder al reto de la diversidad y la heterogeneidad en la didáctica de la química es en realidad afrontar el problema vital de la educación, y por supuesto, las respuestas requieren nuevos lentes que posibiliten una concepción compleja del asunto, lo cual, supone, poner el acento en la dinámica, en los cambios, en espacios y tiempos, en procesos más que en estado fijos; una educación que se trata como un sistema complejo que articula y complementa la realidad socioeducativa desde diferentes enfoques y perspectivas disciplinares (Prigogine, 1993). Por ejemplo, abordar la estructura de aleaciones en función de sus *fuentes, diseño, producción y comercialización* puede ser un fenómeno llamativo en el estado Bolívar –productor de estos materiales–, pero no pasa de ser un hecho meramente curioso en el estado Mérida, aunque lógicamente en ambos sitios puedan ser estudiadas acudiendo a concordias interdisciplinares y multidisciplinarias y, sobre todo, cambiando el enfoque. En esta perspectiva, la didáctica química, como un sistema complejo, debe entenderse como un conjunto de orientaciones y no como prescripciones facultativas, las recetas consiguen ser muy efectivas en el acto médico, pero pueden llegar a ser una tragedia en el acto educativo. Pensamos en un sistema

abierto y activo, susceptible de adaptación y modificación en cada contexto, pues no se pretende conjeturar un modelo didáctico más o menos ideal, único y rígido, que pueda implantarse de forma automática independiente de las características y punto de partida de cada contexto, situación o institución educativa (Vallejo, 1996). Es por tanto, un instrumento para el análisis y la acción en el margen de posibilidades desplegadas en cada proceso formativo concreto. Pero es claro que ese cambio teórico emergerá de la dialéctica entre descubrimientos y una nueva forma de concebir las evidencias, probablemente será una vuelta a un mundo en cuestión constante. Este cambio debe suponer una transformación de nuestros conceptos, más aún, puede ser un cuestionamiento de los conceptos maestros con los cuales solemos aislar el mundo, como ejemplos, los conceptos de átomo, materia y periodicidad (Kuhn, 1982). En esta perspectiva el contexto escolar no es un ámbito estéril, sino el lugar de los intercambios, de los encuentros y a partir de allí el universo entero puede ser considerado como un inmenso entramado, con una inagotable red de relaciones donde nada puede definirse de manera absolutamente independiente. Por demás, los encuentros educativos que pueden generarse deben variar desde lo interno de la institución hasta la sociedad en su totalidad, tomando lo industrial, lo tecnológico, lo ambiental, lo cultural, lo legal, lo político, entre otros. Bajo estas líneas, puede concebirse la organización como una combinación de formas diversificadas, con elementos ligados entre sí, los elementos en una totalidad, los elementos a la totalidad, la totalidad a los elementos, es decir, algo así como una unión de uniones (Arroyave, 1999). Por ejemplo, el ciudadano puede ser a la sociedad lo que el átomo es a la materia, uno y otro pueden existir pero solos carecen de sentido, el ciudadano y el átomo son relativamente autónomos pero no independientes de la sociedad y la materia donde se expresan como sujetos, la sociedad y la materia funcionan intrincadamente pero atendiendo a los designios de ciudadanos y átomos que son sus mentores.

4. Didáctica química, propiedades y complejidad

Ahora bien, en la didáctica de la química, como un sistema complejo, puede ser importante estimar su ámbito como un círculo polirrelacional, dado que entre los diversos componentes del conocimiento químico y el proceso didáctico se multiplican las interacciones en las cuales se desarrollan los procesos organizacionales a objeto de lograr una caracterización dinámica del objeto en estudio, es decir, compenetrar el proceso didáctico específicamente creado y el contenido contextualizado. La organización de un proceso didáctico con estas características, necesita principios de orden que intervengan a través de las interacciones que la constituyen y que le dan el sentido y el significado en el proceso de formación de los objetos-su-



jetos-actores. Esos principios de orden pueden ubicarse bajo la forma de propiedades que conviven, se complementan y se sustentan unas a otras, a saber, la transversalidad, reflexividad, criticidad, complejidad, contextualidad y apertura (Arroyave, 1999).

La **transversalidad** se concibe como un proceso permanente de impregnación de valores, actitudes y procedimientos en consonancia con la interdisciplinariedad, la interdependencia y la interconexión de cada uno de los sistemas desarrollados en el proceso educativo, esto en su conjunto con la cultura, los contenidos axiológicos y con la investigación continua, posibilita el encuentro del verdadero sentido y significado para cada uno de los objeto-sujetos-actores en la comunidad educativa; por ejemplo, el origen de las cosas –la materia– suele ser singular en una u otra cultura, por su folklore, religión e impregnado científico, pero nunca deja de existir, es examinada, espiritualizada, valorizada, ubicada... para su comprensión reutilizable en el conocimiento. La **reflexividad** permite utilizar el conocimiento para describir-describirse, analizar-analizarse, comprender-comprenderse y valorar-valorarse en las diversas peculiaridades del campo de acción de los objeto-sujetos-actores, por lo cual posibilitar la reconstrucción y la transformación de sí, de los otros y de las diversas situaciones de aprendizaje; por ejemplo, la tradicional división entre la materia viva y la no viva conduce a la habitual creencia de átomos vivos y no vivos, lo cual es un grave error que debe ser superado en la medida que se entiende que no es solamente un problema de átomos y materia, sino también de estructura y energía.

La **criticidad** permite la crítica como práctica entre los objeto-sujetos-actores con el objetivo de provocar su propia transformación y la del conocimiento concebido como un proceso dialéctico, dado que en el proceso de formación, la dinámica de la construcción del conocimiento, se sumergen en el diálogo, en el debate y en la confrontación con su realidad y los presupuestos que orientan las diversas acciones de su contexto; por ejemplo, el átomo griego no es diferente del contemporáneo –probablemente ha sido igual desde los inicios del tiempo–, pero la percepción que de él se tiene sí es bien diferente y se pierde de vista en los paradigmas contextuales, claro, eso no quiere decir que aún hoy no debemos discutir la percepción que del átomo se mantiene puesto que podemos toparnos con insospechadas sorpresas.

La **complejidad** debe actuar como un regulador que no permite que se pierda de vista la realidad del tejido fenoménico en la cual se constituye el mundo de los objeto-sujetos-actores para el proceso didáctico, funcionando como heterogeneidad social desde una dinámica polirrelacional convergente en nuevos conceptos, nuevas visiones, nuevas reflexiones que se interconectan, intercomunican, interfecundan para regenerar los tejidos. Por ejemplo, los

interesantes modelos atómicos son tan irreales como la Tierra plana, no obstante, son la expresión más o menos perturbada por la realidad cercana del Sistema Solar imperante y las grandes planicies observadas por los primeros pobladores, lo cual es similar a decir que nuestros modelos mundanos no sólo son razonables, sino que también son enormes generadores de polémicas que deberán ser resueltas en la regeneración del conocimiento.

La **contextualidad** permite concebir el proceso como un sistema abierto y activo, susceptible de adaptación y modificación en cada situación disímil en lo temporal, social y geográfico, pues cada situación o institución educativa es una posible guía, seguramente entre muchas otras; por ejemplo, el uso, la estructura, función y singularidad de una sustancia como el DDT puede tener más impacto en una escuela rural de una zona agrícola donde todavía se usa ese agroquímico –muy a pesar de estar prohibido– que en una ciudad de regular tamaño donde quizás los contaminantes vegetales no tienen mucha importancia a pesar de estar servidos en el plato, eso sí, importa más el impacto de los contaminantes atmosféricos que en ocasiones pueden ser vistos o sentidos sin mayores problemas.

La **apertura** aparece como un rasgo necesario, pues como sistema abierto y activo, considera en su carácter organizacional las entradas y salidas, es decir, las múltiples interacciones internas y externas, uniéndose a esa actividad polirrelacional, lo que equivale a decir, transformadora y productiva, generado desde otras organizaciones didácticas y fecundando, consecuentemente, otros tejidos didácticos en los diversas prácticas educativas; por ejemplo, nadie podría en duda la genialidad de Einstein, lo oportuno de Newton o el arrojito de Darwin, por decir de algunos, pero si ellos vivieran seguramente se negarían a ser tótem de ideas cerradas y modelos infranqueables, pues estarían seguramente muy ocupados buscando fractales del conocimiento para complementar los propios (Holton, 1982). Del mismo modo, el proceso docente no puede aislarse en las oportunas y extravagantes quimeras administrativas del lapso y el objetivo, pues estaríamos condenados a construir pirámides invertidas, no conocimientos. ©

* Licenciado en Educación. Profesor ordinario adscrito al Departamento de Pedagogía y Didáctica de la Escuela de Educación de la Universidad de los Andes. Es miembro de la Unidad de Investigación: "Grupo para la Enseñanza y el Aprendizaje de las Ciencias (GEAC)". Líneas de Investigación: Enseñanza de las ciencias. Educación ambiental.

** Bachelor de Ciencias en Química. Profesor titular del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias de la Universidad de los Andes. Miembro de la Unidad de Investigación "Laboratorio de Organometálicos". Líneas de Investigación: Síntesis de compuestos organometálicos y de coordinación con ligandos tipo fosfinas y nitrógeno sulfurados. Espectroscopía Raman de compuestos inorgánicos, organometálicos y semiconductores. Electroquímica de compuestos inorgánicos y organometálicos. Catálisis homogénea con complejos y cúmulos metálicos. Catálisis heterogénea con metales soportados. Bioinorgánica.



Bibliografía

- Arroyave, D. (1999). *La didáctica como un sistema complejo*. Madrid, España: Debate.
- Hawking, S. (1988). *Historia del tiempo: Del big bang a los agujeros negros*. Barcelona, España: Crítica.
- Holton, G. (1982). *Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein*. Madrid, España: Alianza.
- Kuhn, Th. (1982). *La estructura de las revoluciones científicas*. Madrid, España: FCE.
- Lakatos, I. (1982). *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Madrid, España: Gedisa.
- Laszlo, E. (1997). *El cosmos creativo: hacia una ciencia unificada de la materia, la vida y la mente*. Barcelona, España: Kairós.
- Moraes, M. (1997). *El paradigma educacional emergente*. Sao Paulo, Brasil: Papirus.
- Moraes, M. (2000). *Tejiendo una red, pero ¿con qué paradigma?* Sao Paulo, Brasil: Papirus.
- Morin, E. (1993). *El Método II: La vida de la vida*. Trad. A. Sánchez, 2ª. Edición. Madrid, España: Ediciones Cátedra.
- Morin, E. (1996). *Introducción al pensamiento complejo*. Trad. M. Pakman, Barcelona, España: Editorial Gedisa.
- Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios a la educación del futuro*. Trad. M. Vallejo, París, Francia: UNESCO-Fontenoy.
- Morin, E.; López, G.; Vallejo, N. (2000). *Reflexión sobre los "siete saberes necesarios para la educación del futuro"* París, Francia: UNESCO.
- Pérez, G. (1996). *Comprender y transformar la enseñanza*. Barcelona, España: Ediciones Morata.
- Prigogine, I. (1993). La lectura de lo complejo. En *¿Tan sólo una ilusión?* Trad. F. Martín. Barcelona, España: Tusquets editores.
- Sánchez, J. (1992). *El poder de la ciencia*. Madrid, España: Alianza.
- Vallejo, M. (1996). *El pensamiento complejo: antídoto para pensamientos únicos*. París, Francia: Fontenoy.
- Wagensberg, J. (1985). *Ideas sobre la complejidad del mundo*. Barcelona, España: Tusquets.