

Algunas reflexiones relacionadas con la teoría de la Complejidad en la enseñanza de la Física y la Biología en el preuniversitario

Autores: Dr. C. María del C. García García

Lic. Beatriz San Juan Azze

Lic. Miralia Ronda Oro

## **Resumen**

Este artículo refleja la importancia del estudio de la Teoría de la Complejidad en correspondencia con las tendencias actuales en el desarrollo de las ciencias. Además ofrece una visión de la teoría y una propuesta metodológica para su introducción, de una forma sencilla, en los cursos de Física y Biología en el preuniversitario, a través de las temáticas tradicionalmente estudiadas.

## **Abstract**

The present article reflects the importance of the study of Complex Theory in correspondence with up to date tendencies on the developing of sciences. It also show a vision of the theory and a methodological proposal for its introduction, in a simple way, in Physic and Biology in senior high school, through their traditional studied topics.

## **Introducción**

Profundos cambios comienzan a experimentarse en la enseñanza de la Física y la Biología en la educación preuniversitaria, lo que responde entre otros, a las tendencias actuales en el desarrollo de estas Ciencias. En las condiciones actuales el profesor debe encontrar el modo de explicar de forma precisa problemas transdisciplinarios muy a tono con la realidad del siglo XXI.

En los nuevos programas de estudio de la disciplina Física se expresa que nuestro país está inmerso en una revolución educacional sin precedentes, con la suprema aspiración de alcanzar una cultura general integral para todos los sectores sociales. En este sentido la educación científica y en particular las asignaturas Física y Biología, deben enfrentar el reto de la formación científica y tecnológica de la población en correspondencia con el actual contexto nacional e internacional, donde están en boga los temas: Biotecnología, Bioenergética, Biofísica, Cibernética, Caos, Entropía, Complejidad.

Considerar en el proceso de enseñanza aprendizaje los rasgos distintivos de la actividad científica investigadora contemporánea, es de vital importancia, así se expresa claramente en los programas de estudio para el curso 2004-2005; sin embargo en entrevistas realizadas a 25 profesores de Física, Biología y Matemática de la educación preuniversitaria en el territorio, se comprobó que no poseen suficientes conocimientos relacionados con los elementos fundamentales del desarrollo científico investigativo actual. En múltiples visitas a clases de estas asignaturas, realizadas en el territorio, se ha observado que se mantienen los modos de actuación tradicionales del profesor.

Teniendo en cuenta esta situación se hace necesario elaborar materiales didácticos, cursos de superación postgraduada y artículos científicos que contribuyan a la adquisición de esos conocimientos, para que los puedan aplicar en su labor docente. En este sentido han tenido muy buena aceptación los que tratan temas transdisciplinarios y en especial aquellos que tocan de cerca lo relacionado con la complejidad. Precisamente esta temática se incluye a partir del presente curso en los programas de estudio, el interés profesional en torno a ella crece aceleradamente, muestra de esto es la creación de la cátedra "Complex" en la provincia de Holguín desde el año 2003, donde se agrupan prestigiosos profesionales dedicados al estudio de la Teoría de la Complejidad y que laboran en instituciones universitarias y científicas.

### **Algunas reflexiones sobre una nueva visión del Mundo.**

Todo lo expresado anteriormente nos obliga a tener en cuenta que una nueva dinámica investigativa se extiende por todo el mundo, desde un horizonte transdisciplinario. Se va convirtiendo en algo importante hablar de complejidad en las diferentes disciplinas, sin embargo queda una incertidumbre generalizada que hace difícil llegar a una definición, a una descripción de la complejidad o a una sistematización de sus principios, de sus métodos y de sus contenidos. A pesar de eso vale la pena hallar los elementos que con mayor fuerza hacen presencia en estos aspectos, para

poder expresar con palabras sencillas lo que es, lo que va siendo y lo que puede ser la complejidad.

Stephen Hawking expresó que el siglo XXI es el siglo de la “Complejidad”, por lo que podemos considerar muy valioso la incorporación de contenidos fundamentales relacionados con esta teoría en los programas de estudio de Física y Biología, por ser estas disciplinas las más relacionadas con ella y a la vez por ser portadoras de muchos puntos de vistas comunes en el análisis de los sistemas objetos de estudio.

Evidentemente nos rodea un mundo lleno de interacciones, conexo, a veces aparentemente inexplicable, que abre una profunda falla en todo nuestro sistema de conocimiento así como en la realidad misma.

No debemos percibir al mundo siempre de manera similar, nuevas visiones y organizaciones de nuestro universo, del conocimiento y del pensamiento nos permitirá avanzar en la invención y en el perfeccionamiento de la calidad de vida, las tecnologías, la ciencia y la sociedad en correspondencia con las exigencias del siglo XXI. Evidentemente esto necesita “evolución” en el proceso de enseñanza aprendizaje de las Ciencias.

Las Ciencias de la vida y la Física, en especial la Termodinámica, representan ramas del saber que necesariamente siempre han manifestado con suficiente claridad la necesidad de interpretaciones multilaterales de los fenómenos y la constante búsqueda de un pensamiento complejo. En ambas existen muchos territorios transdisciplinarios donde no se puede prescindir de la no linealidad, los nexos entre los fenómenos, el análisis de los comportamientos caóticos de los sistemas, así como de su autoorganización.

### **Una indisoluble mezcla entre la Física, la Biología y la complejidad**

Los seres vivos son sistemas termodinámicos. La Termodinámica, es una rama de la física que describe y relaciona las propiedades físicas de la materia de los sistemas macroscópicos, así como sus intercambios energéticos. Si se realiza un análisis tradicional de ella solo se puede tener en cuenta sistemas cerrados y hoy ya no es tiempo para esas abstracciones; se impone la Termodinámica de los procesos irreversibles, la Termodinámica de la verdadera naturaleza, de la vida misma.

Todo lo que existe en el universo está formado por materia y energía, y una de las formas en las que se manifiesta la materia en este universo es la vida. Un ser vivo es un sistema que continuamente está intercambiando materia y energía con el medio circundante, manteniéndose en un estado más o menos constante de equilibrio dinámico llamado meta - estable o estacionario.

Los principios de la Termodinámica y las técnicas de la mecánica cuántica explican el comportamiento de subsistemas biológicos, de otros subsistemas más grandes y de sus interacciones.

La esencia de un organismo viviente reside en el hecho de que selecciona elementos particulares de su entorno y los introduce en su entidad por cierto tiempo, organizándolos en patrones característicos. Es, por lo tanto, esta "actividad" de organización selectiva la que distingue a la vida (Young, 1971) La materia viviente presenta, además, la propiedad de mantener constante este patrón de actividades ( metabolismo) pues esto representa su perpetuación. Por ello, todas las actividades realizadas por un organismo vivo están dirigidas a mantener constante esta organización. Esto ocurre a pesar de los continuos cambios que se suceden en el medio que lo rodea. La cualidad, conocida como homeostasia, se conserva en todos los niveles de organización del ser vivo (Miller, 1978) -desde el orgánulo más simple hasta el **planeta** entero como organismo , y requiere, claro está, de un justificado uso de energía; lo planteado es una muestra del proceso llamado auto- eco-organización, cuestión muy tratada en la teoría de la complejidad.

Los procesos biológicos como la evolución, la translocación de sustancias, las enfermedades y otros, requieren de la revelación de amplios conocimientos de las ciencias en su **integridad**, esto es un obligatorio elemento de análisis en la teoría de la Complejidad. Bien vale la pena citar un ejemplo: en el ámbito de la transdisciplinariedad, tocando la complejidad, una enfermedad no es más que un estado en el que el sistema complejo posee una gran entropía que trata de "expulsar" a toda costa por algún punto del organismo, por tanto podemos concebir la enfermedad como un nuevo orden en la manifestación de la vida. Desde este planteamiento, si suprimimos sólo parte de los síntomas estaremos impidiendo la estabilidad, dado que el sistema deberá buscar por medio de una fluctuación un nuevo orden de

mayor complejidad, como forma de evitar la destrucción del sí mismo. Normalmente se aplica un tratamiento, digamos la terapia neural o cualquier medida vademecunizada, o sea, teniendo en cuenta la enfermedad y no al enfermo. Puede emplearse el suministro de oxígeno, ozono, tratamiento con mejorales, ampicilinas o butazolidinas, en ocasiones mal aplicados, éstos eliminan en el paciente síntomas de la enfermedad por los cuales buscaba su “**neguentropía**” Se le quita el dolor en el hombro, la úlcera o la migraña pero no se estimulan sus mecanismos propios de ordenación. Por eso se insiste en que: la acupuntura con sus leyes cibernéticas, las leyes de curación homeopática y el concepto de campo interferente como foco de ruido perturbador en un circuito, son el trípode sobre el que han de basarse las medicinas biológicas.

Nuevos y profundos análisis sobre los procesos de selección también son elementos implícitos en la teoría del caos, la Teoría de la Evolución explica el origen y la transformación de los seres vivos como el producto de la acción de dos principios fundamentales: la selección natural y el azar. La selección natural regula la variabilidad de la recombinación y mutación aleatorias de los genes.

Dentro de la Teoría de la Complejidad y en el marco de la termodinámica de los procesos alejados del equilibrio, surge el concepto de **autoorganización**, éste parece poder ayudar a llenar lagunas en la teoría.

Se denomina autoorganización a una serie de factores intrínsecos a la dinámica de la materia que hacen que ésta presente formas organizadas. La propiedad de autoorganizarse, aunque se da también en algunos sistemas inorgánicos, presenta características que de algún modo trascienden las ciencias físico-químicas clásicas. Por ello, sin ser una propiedad definitivamente biológica, proporciona una concepción del mundo que sugiere una solución de continuidad entre lo inanimado y lo viviente. Por otro lado, la autoorganización designa una noción sistémica, es decir, la entidad que se organiza a sí misma está compuesta por partes cuya configuración e interacciones mutuas determinan el todo que forman. Además, el concepto de autoorganización concibe al sistema con una capacidad de orden ( esto implícito en la actual teoría del caos), que se produce en virtud de sus

propiedades materiales, excluyendo la intervención de un agente externo que lo diseñe. Evidentemente los temas tratados de forma muy sintética anteriormente son muy motivantes y nos pueden servir para realizar un buen trabajo de orientación vocacional con nuestros alumnos, además de elevar la cultura médica y general, pero es necesario buscar el modo de abordar el tema de la complejidad desde los contenidos de Física y Biología impartidos en la educación preuniversitaria de manera que verdaderamente comencemos a formar hombres de ciencia con un pensamiento flexible y conocimientos amplios y actualizados.

### **Una interpretación de la complejidad**

Es necesario, con urgencia, comprender el significado de complejidad para los estudiosos de la Biofísica o de una de estas "ramas del saber", lo que aporta la Física y la Biología a la complejidad como teoría y ella a estas, comenzando por el análisis de la complejidad como algo que existe, que nos rodea, que le es inherente a la naturaleza y que erróneamente no siempre se tiene en cuenta en las ciencias.

Como teoría es un conjunto de conocimientos (conceptos, leyes, etc.) que explica el comportamiento de los sistemas caracterizados por ser aparentemente impredecibles y aleatorios aunque sus componentes estén regidos por leyes estrictamente deterministas. Surge dentro de las Matemáticas y presupone **la no linealidad, el análisis holístico profundo de los fenómenos**. Esta se desarrollo rápidamente en la década de 1980, sobre sus bases, los físicos teóricos como el británico Stephen Hawking siguen haciendo esfuerzos para desarrollar un sistema que englobe tanto la relatividad como la mecánica cuántica.

Los sistemas complejos son el objeto de estudio real de la Biología, la Física, la Psicología, la sociedad, la informática, la química, la medicina, etc. Por tanto la complejidad es la **Termodinámica de la vida**, de la naturaleza, del universo, de los procesos irreversibles, de los sistemas abiertos, es una nueva y necesaria visión del mundo, en ella es común encontrar términos como caos, entropía, fractales, auto-eco-organización, estados emergentes, auto replicable, etc, ya es hora de familiarizarnos con estos conceptos, de lo contrario no podremos entender cómo evoluciona la Ciencia en la actualidad,

entonces, ¿de qué manera podemos enseñar en correspondencia con un nuevo pensamiento científico?

### **Un intercambio de aportes**

¿ Qué aportan la Física y la Biología a la complejidad como teoría?

Aportan, entre otras cosas:

- **Conceptos** (como el de entropía y autoorganización) El concepto de autoorganización es trascendental, surgido en el marco de la termodinámica de los procesos alejados del equilibrio y se desarrolla en las ciencias de la complejidad. Se denomina así a una serie de factores intrínsecos a la dinámica de la materia que hacen que ésta presente formas organizadas. La propiedad de autoorganizarse, aunque se da también en algunos sistemas inorgánicos, presenta características que, de algún modo, trascienden las ciencias físico-químicas clásicas
- **Objetos de estudio** ( las células, un organismo vivo, un gas que se expande en un sistema abierto, provocando la discontinuidad que da paso a un nuevo estado llamado emergente)
- **Métodos de estudio** ( el análisis fenomenológico dado en la empírea)

¿ Qué aporta la complejidad a las disciplinas mencionadas?

- **Nuevos modelos** (como el modelo virulento de caos, el modelo de aproximación Newtoniana, entre otros)
- **La dimensión evolutiva** en los análisis fenomenológicos ( interpretación de procesos como sucesivos estados de complejidad creciente, asociando una medida de la entropía)
- Obligatoriedad en precisión de **interacciones**
- **Nuevos métodos de estudio** que no pueden prescindir del desarrollo alcanzado en la informática. Una muestra significativa de esto es el empleo de la Geometría Fractal (una geometría no euclidiana) y los sistemas de aplicaciones derivadas de ella, por ejemplo el Fractin, que nos proporciona hermosas imágenes de fractales y nos ayuda a descubrir *autosemejanzas*, es decir, propiedades en las que una pequeña sección de un fractal puede ser vista como una réplica a menor escala de todo el fractal. Mandelbrot

sugirió que las montañas, nubes, rocas de agregación, galaxias y otros fenómenos naturales son similares a los fractales, por lo que la aplicación de la geometría fractal a las ciencias es un campo que está creciendo rápidamente. También se dice que lo fractal es la geometría "real" de la naturaleza que paradójicamente permite construir realidades virtuales.

### **Una propuesta metodológica simple para el tratamiento de la Complejidad**

Teniendo en cuenta la relación mutua de aportes entre complejidad-Física y Biología, la diversidad de sistemas complejos, la trascendencia de la nueva teoría en el desarrollo de las nuevas tecnologías que emanan de estas ciencias fusionadas bajo las influencias de la transdisciplinariedad, se propone tratar la Complejidad en los programas de Física y Biología en la educación preuniversitaria del siguiente modo:

- 1- Sin variar el orden lógico de los contenidos tradicionalmente establecidos en los planes de estudio y programas de asignatura, la teoría se introduce dentro del tema utilizando la presentación de los nuevos modelos, precisando lo novedoso al tener en cuenta las múltiples interacciones, empleando sus métodos, así bien puede introducirse al tratar los temas:
  - Movimiento Browniano ( algunos lo presentan como un fractal de orden 2, con características distintivas que pueden ser modeladas con el uso de la informática)
  - Equilibrio termodinámico ( se introducen nociones sobre sistemas alejados del equilibrio)
  - Estados termodinámicos ( se amplía con la descripción de los estados emergentes)
  - Principios de la Termodinámica ( es vital analizar la trascendencia en el desarrollo de la teoría del caos e informar sobre las tres termodinámicas que se manejan en el mundo científico de la actualidad, la de Boltzmann y Clausius, la de Onsager y la de Prigogine, que tienen leyes convergentes que autorizan a buscar correspondencias recíprocas)
  - Sistemas e interacciones

- Modelos ( se puede partir de la critica a tantas restricciones e introducir la ciencia de la complejidad)
  - Elementos de Historia de las Ciencias
  - Elementos de Física de los materiales
  - Caracterización de universo en que vivimos.
  - La célula como unidad básica de estructura y función
  - Niveles de organización de la materia
  - Metabolismo celular
  - Organismo como un todo
  - Mecanismos de regulación ( regulación nerviosa, endocrina, neuroendocrina)
  - Funciones vegetativas
  - Reproducción
  - Evolución biológica. Teoría de Oparin y otras teorías evolucionistas
- 2- Estableciendo un adecuado vínculo entre los contenidos ( en especial la evolución de los fenómenos de las ciencias particulares) y la informática; se puede ejercitar los diferentes sistemas de aplicaciones, pero conociendo su esencia, de modo que tenga un significado para el usuario y no represente un simple juego de Nintendo.

### **Conclusiones:**

Enseñar ciencia alejándonos del tradicionalismo, precisa de nuevos métodos, pero también de conocimientos actualizados que en realidad hoy atraviesan las fronteras de una disciplina y se alejan de una estrecha visión de fenómenos aislados.

Para llegar lejos en la enseñanza de las Ciencias hay que garantizar llevar su propio rumbo, esto es perfectamente posible en la educación preuniversitaria con una adecuada concepción de lo que se avizora para el siglo XXI (el bien llamado siglo de la Complejidad) y las posibilidades que hoy nos ofrece nuestro sistema de educación, no debemos vacilar cuando se trata de formar

hombres de ciencia, de cultura integral, preparados par asumir los retos que la humanidad impone.

### **Bibliografía**

Drucker, Peter. Revista Oficina Eficiente. La nueva sociedad de las Organizaciones, Bogotá, Febrero/90.

Mandelbrot, Benoit. Turquels. Nuevos avances en la investigación social. Objetos fractales, Barcelona/87.

Prigogine, Lilya y Stangers, Isabel. La metamorfosis de la ciencia. "La nueva alianza", Madrid /90a.

Colectivo de autores. Programas de estudio de Física y Biología para la Educación Preuniversitaria, Cuba/94.