



UNA VISION ACTUALIZADA DE LA EDUCACION EN LAS CIENCIAS DE LA NATURALEZA

A. J. Arvia¹

Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Avda. Alvear 1711, 4to. piso, (1014) Buenos Aires, Argentina.

E-mail: biblio@ancefn.org.ar

“introduzione alla realtà totale, ecco cosa é l’educazione”.

Luigi Giussani, “Il Rischio Educativo”

1. Breve introducción al tema de la educación, las ciencias naturales y la cultura

La educación de un ser humano consiste en ayudarlo a introducirse en la realidad total en un clima de libertad, de responsabilidad social y de respeto a la cultura. Esta definición permite distinguir educación de instrucción: se educa al hombre, se instruye a un robot, a una máquina. Con este marco conceptual la presentación del tema se abordará con criterio educativo.

El hombre del siglo XXI está sometido, cada vez con mayor frecuencia, y más allá de sus deseos, a un caudal creciente de información relacionada con ofertas, por ejemplo, de nuevos productos muchos de ellos derivados del avance de la ciencia y de la técnica, también con la exaltación de figuras políticas, deportivas o artísticas de algún valor o simplemente impulsadas por los medios, con la promoción de libros, músicas y canciones de moda. Todo esto lo obliga a tomar decisiones inteligentes y responsables para la elección más adecuada para cada situación. Este acto humano de selectividad sea en el sentido de lo bello, de lo justo, de lo espiritual, se basa en el razonamiento y en la libertad. En estos actos se manifiesta la esencia de la cultura alimentada por la educación.

Se distingue frecuentemente a nuestra sociedad como una sociedad del conocimiento y como tal cuando se habla de ciencia se la enfrenta con los peligros de las armas nucleares, de la contaminación del medio, y de otros hechos desfavorables para el hombre, muchos de los cuales se vinculan con alguna forma de búsqueda de poder. Sin embargo, contrariamente a ese enfrentamiento, la verdadera ciencia es esencialmente búsqueda de conocimiento. Por este camino se inserta la ciencia en la cultura. Es parte del afán del hombre de conocer y comunicarse en forma racional o intuitiva. La aplicación de la ciencia, o sea, la tecnología en general, es como un fruto en el árbol del bien y del mal cuya selección y destino escapa a los científicos. La rueda sirve para transportar al

¹ Investigador Superior Emérito del CONICET; Profesor Emérito de la Universidad Nacional de La Plata



hombre más fácilmente y el cuchillo para filetear un trozo de carne asada, pero también ambos pueden servir para dañarlo y hasta matarlo.

Si la ciencia se considera realmente un desafío, principalmente lo es para la educación. El primer deber del educador será conocerla y ayudar a que el estudiante la conozca. El educador formado con una visión actualizada de las ciencias de la naturaleza, podrá poner entonces esa visión a disposición de los estudiantes desde sus primeros años y la continuará impartiendo sin interrupciones, durante toda la etapa de la educación formal, indistintamente del destino del egresado en la sociedad.

La ciencia crece y se renueva con velocidad creciente y en direcciones insospechadas. Su evolución se asemeja a la de un ser vivo. Quién hubiese pensado veinte años atrás en la biotecnología? En los estudios a nivel de nanoestructuras de los materiales? En nuestro conocimiento actual de la estructura de la materia?, del origen del universo?, de las bases fisicoquímicas de los fenómenos biológicos? El conocimientos de estos temas y de muchos otros, a diferentes niveles, son hoy indispensables en la formación integral del hombre. En este aspecto, en el proceso educativo resulta indispensable iluminar al estudiante con una actitud científica, es decir, curiosa y creativa, buscando explicar los hechos observados, pues es altamente probable que él mismo llegue a ser un futuro actor en el desarrollo o en la aplicación de la ciencia en una realidad futura actualmente ignorada.

En el proceso educativo, por el tiempo y los medios de que se dispone habitualmente es difícil que se pueda llegar a conocer solamente por inducción el volumen de hechos que encierran las ciencias de la naturaleza. Esto exige incorporar en su enseñanza un mínimo de conocimientos para que cada uno pueda participar en una discusión inteligente. Por ejemplo, no se puede discutir la estructura de las proteínas si no se conoce, por lo menos a grandes rasgos, la estructura de los amino-ácidos que las componen. Sin embargo, la calidad y cantidad de hechos que puede y debe retener el estudiante son obviamente limitadas. Está en el criterio del educador lograr la coordinación y el equilibrio del conocimiento a impartir a través de la inducción, la deducción, y el uso de la información adecuada para la resolución de un problema.

Ahora bien, para replantear la educación evitando antiguos excesos de memorización es importante que el docente tenga o haya tenido alguna relación con actividades creativas como la investigación científica o tecnológica. No se trata de que el docente se transforme en investigador sino que tenga una actitud científica en su tarea docente, esto es, plantearse preguntas, dudas, actuar con humildad y honestidad frente a lo desconocido. Frecuentemente, cuando se quiere motivar al estudiante hacia la ciencia se insiste en lo que se puede hacer con la ciencia, es decir en sus aplicaciones, en lugar de enfatizar qué se hace y como se hace en ciencia.

En el laboratorio se pueden hacer experimentos de física, química, biología, pero su simple descripción no basta para concluir, por ejemplo que la química que subyace en el calor generado en la respiración del perro es similar a la que se produce en la combustión del carbón. Para llegar a esta conclusión se requiere un ejercicio de imaginación y raciocinio muy efectivo para motivar al estudiante a la inducción de leyes con un alcance más amplio. La tabla periódica de los elementos químicos es otro ejemplo: Mendeleev propuso que sus propiedades se repetían en forma periódica y así surgió la conocida



ordenación de los elementos, pero él mismo no conocía en ese tiempo la estructura del átomo. Lo mismo ocurre con la estructura de los materiales naturales y los elaborados por el hombre observados a distinta escala.

La enseñanza de la ciencia debe mostrar también la belleza del proceso de creación y descubrimiento en el trabajo científico. La matemática ofrece ejemplos muy aleccionadores al respecto. Así, la historia de los números primos y su relación con la música, las deducciones de teoremas en matemática, las construcciones geométricas, las posibilidades de la geometría fractal, etc. Esto mostrará que la creación en ciencia no está lejos de la creación artística. Ambas usan los sentidos, ya sea para la observación o para la expresión. Entre ellas hay solamente diferencia de grado. El científico como el artista recoge innumerables hechos e impresiones, los elaboran, y los entregan a la sociedad ofreciendo una nueva cosmovisión racional (Einstein, Bach, Galilei, Cervantes, Michelangelo, etc.). Por este motivo la educación debe mostrar que la ciencia es parte de la vida del estudiante, y que él se comporta como científico cuando trata de buscar orden en el caos de miles de mensajes que le llegan a diario.

La ciencia y el arte son dos facetas de una misma actividad del hombre. Del *homo humanus*, no del *homo oeconomicus*. Este es el mensaje que se debe entregar al estudiante, hacerle comprender el quehacer de la ciencia antes que sus aplicaciones; la ciencia únicamente como búsqueda de conocimiento para realización y socialización de la persona. Lograr que cada uno llegue a sentir la ciencia como parte del quehacer diario reconociendo que el saber de hoy será superado por el que vendrá. En esta actitud la ciencia encierra una lección moral que se debe impartir: el hombre debe procurar ceder algo de lo que ambiciona para obtener a través del bien común de la ciencia satisfacciones mucho mayores. Esto motiva que docentes e investigadores en ciencia intercambien ideas y trabajen juntos. El problema no es la ciencia en sí sino lograr que todos la comprendan como parte de la cultura.

2. Breve reseña del desarrollo científico y su relación con la educación en las ciencias naturales

Desde el siglo XVIII y hasta mediados del XX, el esquema de las ciencias de la naturaleza estuvo marcado por un razonamiento lineal, esto es, se analizaban las partes de cada disciplina en forma aislada y la suma de resultados provenientes de ese análisis conducía a la formulación de un planteo integral de la educación. En este esquema, que todavía perdura, los contenidos disciplinares, en gran medida, permanecen desconectados de los avances de las otras disciplinas, lo cual ha fomentado la idea irracional de posibles antagonismos entre las ciencias de la naturaleza y las humanidades, o entre la ciencia básica y la aplicada. En los comienzos del siglo XXI, cuando se habla de educación es necesario tener en cuenta el cambio sin precedentes producido en los últimos decenios por el torbellino de nuevas ideas, del caudal de la información, de la cantidad de inventos accesibles al hombre común y el crecimiento explosivo de tecnología de base científica. Esto implica un desafío de la humanidad para enfrentar el futuro inmediato, inquietud que conlleva plantearse de qué forma convendría encarar el proceso educativo para que cada ser humano pueda aspirar legítimamente a alcanzar una meta de felicidad personal y colectiva.



Actualmente el proceso educativo debe enfrentar la realidad con una forma de razonamiento no lineal descubriendo y entrelazando las características universales del conocimiento, como se concluye del análisis de diversas disciplinas que en apariencia están desconectadas entre sí. Este es el caso, entre otros, de la meteorología (pronóstico del tiempo), de la física (física de láseres, caos cuántico), de la química (modelado molecular), de la biología (simulación computacional de crecimientos celulares), de las ciencias sociales (situaciones de crisis no previstas), del funcionamiento de la mente (dinámica no lineal de los sistemas complejos). Abordar esta problemática científica exige una estrategia matemática robusta capaz de responder a las preguntas relacionadas con las estructuras de los sistemas complejos que se describen como intermedias entre las de los sistemas ordenados y las de los desordenados. La característica importante de esta problemática es su enfoque interdisciplinario, particularmente matemático.

Otro aspecto insoslayable que hace al proceso educativo es el rápido crecimiento de la densidad de información. Actualmente el conocimiento básico se duplica cada 8 años, y para el 2020 se estima que ello ocurrirá cada 76 días. Si a esto se agrega, entre otros hechos, la prolongación de la vida humana, la posibilidad de disponer de supercomputadoras de bajo costo, de operaciones bancarias cibernéticas, de drogas diseñadas para fines específicos, de transporte subterráneo supersónico, entonces, las preguntas son qué y cómo deberán enseñarse las ciencias de la naturaleza para que el hombre cuando termine su formación escolar o universitaria pueda integrarse a la sociedad con buena probabilidad de ganarse dignamente su sustento y el de su familia

El desarrollo espectacular de las ciencias de la naturaleza tiene lugar dentro de un marco de progresivo rigor matemático que se percibe claramente en el caso particular de la biología ayudada a su vez por los avances de la física y de la química. Todos los sistemas complejos funcionan porque las moléculas que los constituyen interactúan como las piezas de un rompecabezas. Es claro que estas mismas ideas deben entrar en consideración cuando se discute cómo proceder con la enseñanza de las ciencias biológicas y no-biológicas, y en particular de las ciencia de los materiales. Entonces, la vida sobre el planeta alcanzará plenitud cuando la humanidad conozca las ciencias de la naturaleza con un sentido integral. En este contexto ciencia y tecnología podrán producir riqueza y realimentar la capacidad de producir, a su vez, más ciencia y tecnología.

Ahora bien, lo expuesto funcionaría probablemente con mayor facilidad si la humanidad estuviera formada por robots, en lugar de hombres y mujeres de diversas etnias, con tradiciones culturales y lenguas diferentes, y en variadas situaciones económico-sociales. Entonces aparece como hecho insoslayable el comportamiento ético y social del hombre frente a sus congéneres, al medio que le ha sido dado, y al propio conocimiento científico y técnico considerado como bien social. Frente al hombre ese comportamiento se basará en el respeto a la libertad e igualdad de las personas, pues todos tenemos un origen común, aunque la explicación de este origen dependa de los elementos culturales de cada uno, y en un comportamiento social solidario. El comportamiento ético frente al medio se apoyará en el convencimiento de que se trata de un bien social recibido gratuitamente, y que es deber de cada uno preservarlo y mejorarlo para el usufructo de las futuras generaciones.

En las bases de este progreso subyace un criterio de universalidad del conocimiento científico que ha roto las barreras interdisciplinarias. Así, conceptos básicos, tales como el de energía, transformación, simetría, vibraciones, fluctuaciones, fotones, fotofísica, fotoquímica, instrumentos y mediciones, estimaciones y predicciones, etc. aparecen en cualquier fenómenos de la naturaleza espontáneo o provocado por el hombre. Esta universalidad no puede soslayarse en ningún proceso educativo actual relacionado con las ciencias de la naturaleza.

3. Los sistemas complejos

Un sistema tan simple como un átomo en el vacío absoluto no existe en nuestro universo. Los sistemas reales están constituidos por una multiplicidad de átomos, de moléculas, de átomos y moléculas, de iones, en una sola fase o en contacto con fases distintas. Se los describe, por tanto, como sistemas complejos.

Actualmente las técnicas nanoscópicas pueden brindar la posibilidad de obtener imágenes de la superficie de un sólido a nivel atómico. Por ejemplo, la imagen de una superficie de grafito ordenado, de algunas decenas de nanómetros cuadrados (nm^2) obtenida con un microscopio de efecto túnel (STM) (Fig. 1), es una buena descripción de una superficie lisa, descartando la corrugación de los átomos de carbono que forman la estructura hexagonal tipo panal de abeja. Los átomos de carbono pueden formar también estructuras quasi-esféricas como en el fullereno (Fig. 2), cuya superficie es una configuración de 60 átomos de carbono distribuidos en hexágonos y pentágonos, como los gajos de cuero de una clásica pelota de fútbol. La estructura del fullereno presenta un hueco central que se puede utilizar como un reactor de dimensiones nanométricas. Micro-reactores moleculares de este tipo brindan un espacio restringido para reacciones que no tienen lugar en reactores convencionales.

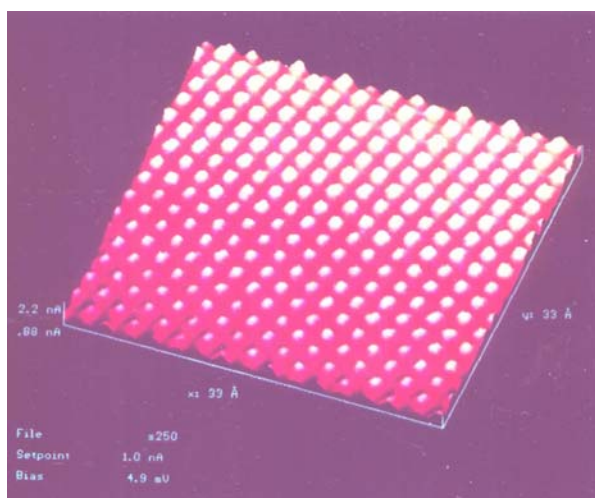


Figura 1. Imagen de un dominio ($5 \times 5 \text{ nm}^2$) de la superficie basal del grafito, C(0001) obtenida por microscopía de efecto túnel. La distancia entre los átomos de carbono más cercanos es 0,246 nm.

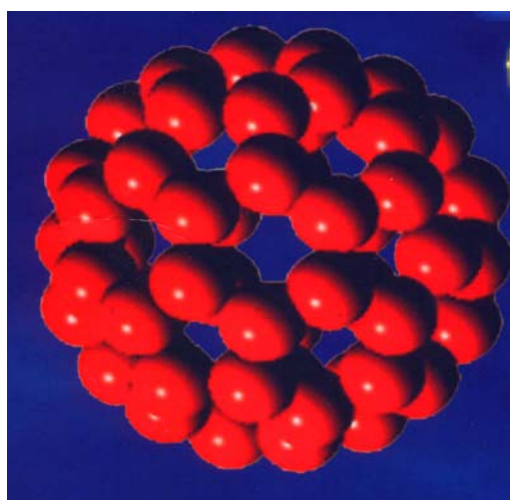
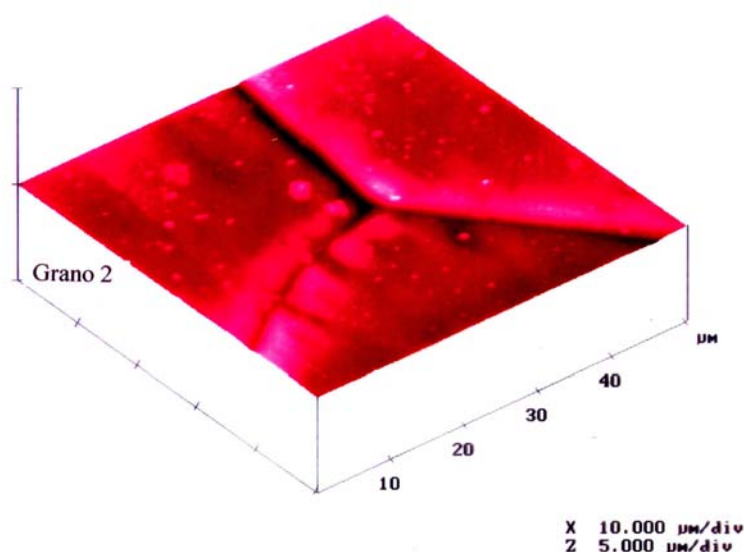


Figura 2. Configuración de los átomos de carbono en el fullereno. Se distinguen las estructuras pentagonales y hexagonales formando una cavidad nanométrica.

En la escala del micrómetro, la imagen STM de la superficie de un policristal de cobre muestra tres regiones lisas (superficie de los granos) con diferentes cristalografías y netos límites de grano formando ángulos definidos (Fig. 3).



Muestra pulida y recocida a 700 C antes del tratamiento

Figura 3. Imagen de una superficie de cobre ($60 \times 60 \mu\text{m}^2$) obtenido por microscopía de efecto túnel. Se distinguen partes de tres granos y de sus correspondientes límites de grano.

Dentro de los agregados atómicos (“clusters”) son de interés los constituidos por átomos metálicos (Fig. 4). En ésta se muestran agregados de oro (111) formados por un número diferente de átomos sobre un sustrato monocristalino (111). Las propiedades de estos agregados dependen del número y distribución de los átomos en el cristal. Su energía superficial es importante para la catálisis heterogénea. Así, para un agregado de 30-40 átomos distribuidos en capas superpuestas (Fig. 5) su superficie consiste de una terraza y de escalones. Sin embargo, desde el punto de vista cristalográfico, la terraza presenta la configuración hexagonal (111), mientras que las caras de los escalones presentan, en forma alternada, la estructura hexagonal (111) y la cuadrada (100). Por tanto, la distribución de la energía superficial del agregado es heterogénea, hecho importante para el diseño de catalizadores, pues aparecen sitios con diferente energía localizados en la terraza, en sus bordes, en las caras de los escalones, y en los bordes del contacto agregado/sustrato. El manejo de la distribución de la energía superficial permite optimizar el diseño de estos agregados para su aplicación a un determinado uso. La

geometría de la superficie y del volumen de estos agregados en el rango de la corrugación atómica, es euclídeana.

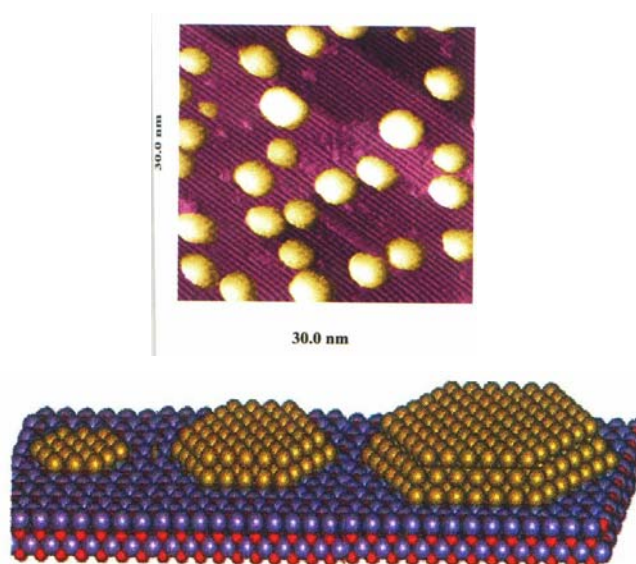


Figura 4. (a) Nanopartículas de oro distribuidas sobre la superficie de un monocristal de titania de $50 \times 50 \text{ nm}^2$. (b) Esquema de nanoagregados de oro formando una, dos, tres capas atómicas.

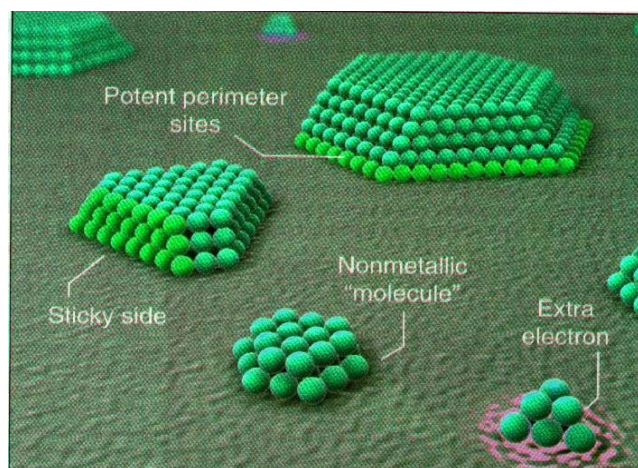


Figura 5. Agregados de oro con distinta configuración en los cuales se indican zonas (terrace, bordes de escalones, caras laterales y borde de contacto agregado/substrato) con diferente actividad catalítica.

La situación es diferente para superficies sólidas irregulares. Así, las dendritas metálicas en un sistema esférico o radial (Fig. 6) muestran un crecimiento de las puntas más rápido que el de las ramas secundarias. Estas últimas forman ángulos de 30° o múltiplos de éste, y su crecimiento radial conlleva, en general, a una disminución de la densidad aparente de las dendritas. La medida del perímetro y de la superficie sólida depende de la escala de medida, como se deduce de un perfil irregular medido con tres patrones de escala (Fig. 7)

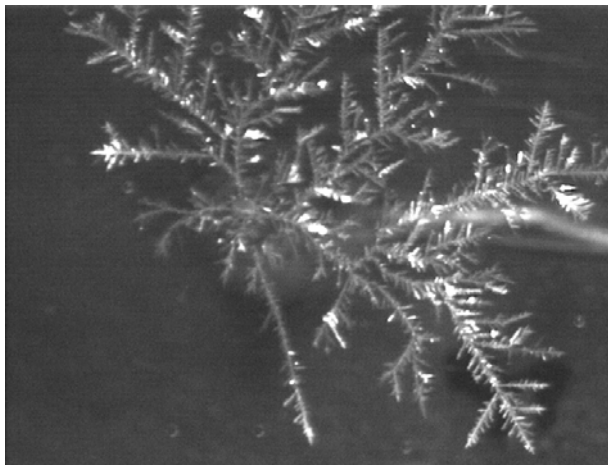


Figura 6. Fotografía de un depósito de plata dendrítico crecido electroquímicamente. Se observa la estructura ramificada típica con ramas principales y puntas que se desarrollan direccionalmente, y ramificaciones laterales secundarias formando ángulos definidos con las ramas principales

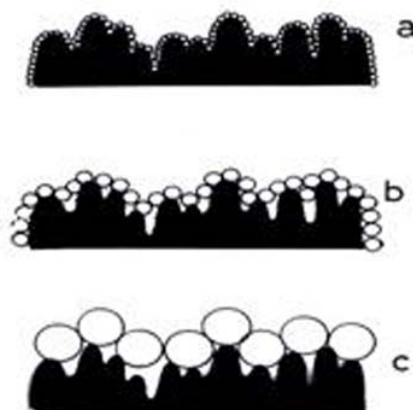


Figura 7. Perfil irregular de un sólido. Su longitud depende del patrón de medida. Cuanto menor es éste, el resultado se encontrará más cerca de la longitud del perfil atómico o molecular.

Cuanto menor es el patrón de escala mayor es la aproximación de la medida al perfil de la rugosidad atómica o molecular. Esta propiedad de numerosos objetos irregulares resulta de su comportamiento no-euclideo y está asociada con la fractalidad de la superficie y del volumen. El concepto de fractal permite interpretar la rugosidad de esos objetos cuali y cuantitativamente. La rugosidad es una característica importante de los sólidos en la ciencia de los materiales, particularmente en la cuantificación de los fenómenos de superficie.

4. Algunas características de los sistemas complejos y su relación con los materiales

Dentro de los sistemas denominados complejos se pueden distinguir los sistemas lineales, o sea aquéllos cuyas propiedades se interpretan como la suma de las propiedades de las partes, y los sistemas no lineales en los cuales cambios locales producen efectos globales. La dinámica de los sistemas complejos es no lineal y su tratamiento requiere de una estrategia matemática que pueda ser aplicada con un enfoque interdisciplinario.

Los fenómenos en la escala macroscópica, tan variados como ondas, nubes, formas de objetos, reacciones químicas, plantas, bosques, poblaciones en general, mercados y bolsas de valores, memoria humana, etc., se pueden caracterizar por parámetros de orden que no se reducen solamente a la escala microscópica. El comportamiento de los fenómenos a este nivel determina las propiedades de los fenómenos reales en la escala macroscópica, tales como potenciales de campo, poder social o económico, sentimientos o pensamientos, etc.



Los sistemas materiales se denominan conservativos cuando manifiestan reversibilidad, simetría o invariancia en el tiempo y, consecuentemente, conservan su energía. Ejemplos de sistemas conservativos son algunos relacionados con la mecánica celeste, o con el péndulo sin fricción. Se trata de un comportamiento ideal. Los sistemas reales, complejos, aquéllos en los cuales aparecen fuerzas de Newton con fricción, constituyen sistemas disipativos. Estos se caracterizan por su irreversibilidad.

La naturaleza fue considerada como un gran sistema conservativo hasta que Poincaré intentó resolver el problema de la mecánica de tres cuerpos, oportunidad en la que observó la aparición de trayectorias no previstas para el enfoque determinista. Hoy, después de Kolmogorov, Arnold y Moser, se admite que las trayectorias en el espacio de las fases no son completamente regulares como se esperaba de la mecánica clásica, sino que no son ni completamente regulares ni completamente irregulares y son fuertemente dependientes de los estados iniciales. Esto hace que pequeñas fluctuaciones iniciales (locales) puedan inducir grandes efectos en gran parte del sistema. Es lo que se conoce como “efecto mariposa”.

El enfoque actual de las ciencias de la naturaleza basado en el concepto de sistema complejo es el resultado de mediciones de propiedades de los cuerpos constituidos por átomos y moléculas y de su comportamiento dinámico y cinético. Por tanto, es importante adelantar una explicación del propio proceso de medida. Según Bohr y Heisenberg, en este proceso participan tres sistemas materiales cuya mejor descripción nos la ofrece hoy la mecánica cuántica. Ellos son el sistema incógnita, el instrumento de medida y el observador. La medición resultará entonces de una correlación de los estados cuánticos de los dos primeros y de la presencia del observador. El proceso de medición es entonces un acto no lineal. La explicación más reciente de Penrose considera al proceso de medida además de no lineal, no conservativo.

De lo expuesto hasta aquí se concluye que los sistemas macroscópicos son sistemas complejos con características no lineales, formados por numerosos constituyentes y, consecuentemente, con un número grande de grados de libertad. El comportamiento del sistema complejo no se puede predecir ni revertir partiendo de un constituyente aislado. Por tanto, la descripción determinística de un constituyente aislado se debe reemplazar por la evolución de la probabilidad de sus funciones de distribución.

4. Sistemas complejos y evolución de la materia

Para abordar este tema cabe la pregunta ¿cómo surgen estados de la materia compleja que involucran orden, orden parcial (irregular), o desorden (caótico)?. La respuesta a esta pregunta nos la ofrece la termodinámica y la mecánica estadística que prevén la posibilidad de autoorganización de los sistemas complejos.

La autoorganización está asociada con transiciones de fase y puede ser conservativa si se producen transiciones estructurales reversibles en equilibrio térmico, como en los ejemplos del crecimiento de cristales de nieve, de la magnetización de un ferromagneto por recocido a una temperatura crítica, etc. Las estructuras resultantes son ordenadas, de baja energía, están favorecidas a baja temperatura, y satisfacen la ley de distribución de Boltzmann.

La autoorganización disipativa implica transiciones irreversibles que ocurren lejos del equilibrio del sistema. Ejemplos de ellos son el funcionamiento del laser, las reacciones químicas oscilantes, etc. En estos casos cuando las interacciones del sistema disipativo con el medio alcanzan un valor crítico, se favorece la formación de patrones estructurales (“patterns”) macroscópicos a través de interacciones no lineales de los elementos microscópicos. La estabilidad de la estructura emergente está determinada por un balance entre no linealidad y disipación, es decir, entre los efectos cooperativos y la sinergia. Un exceso de no linealidad como de disipación conduce a la destrucción del patrón estructural. A través de una autoorganización disipativa, la interacción de los sistemas complejos alcanza un valor óptimo para desencadenar algún tipo de proceso.

Como ejemplo de esta optimización se puede mencionar la reactividad catalítica de agregados de oro en función de su tamaño para la reacción de oxidación térmica del monóxido de carbono a dióxido de carbono. Esta es una reacción importante en la descontaminación ambiental (Fig. 8). La curva actividad catalítica versus tamaño promedio del agregado muestra que la máxima eficiencia está asociada con agregados de oro de unos 3,5 nm de diámetro.

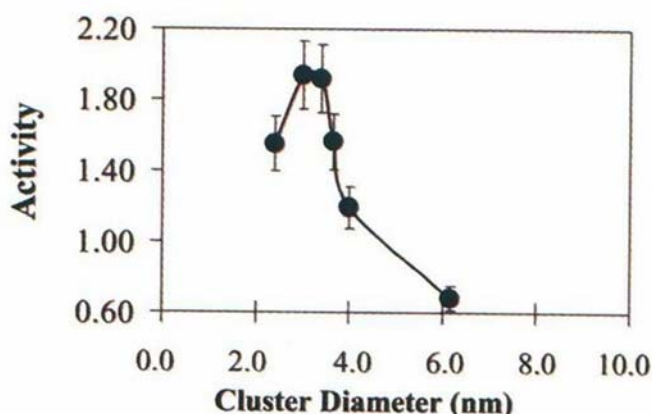


Figura 8. Actividad catalítica versus tamaño del agregado de oro para la reacción $\text{CO} + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$. La actividad máxima se observa empleando agregados de 3,5 nm de diámetro promedio.

Otro ejemplo es la formación de nanoestructuras ordenadas con reactividad adecuada para cierto tipo de procesos (Fig. 9). Sobre la superficie de un monocristal se adsorbe autoordenándose espontáneamente una monocapa de material orgánico (alquilazida). Mediante la punta de platino del “cantilever” de un nanoscopio de fuerzas atómicas se reduce con hidrógeno un dominio de la monocapa ordenada, y en ese dominio adecuadamente derivatizado, se incorporan nanoesferas de látex modificadas con un aldehído. Se genera así una estructura compleja con actividad catalítica. Una estructura semejante se produce en un electrocatalizador formado por una película de porfirina de cobalto anclada sobre una superficie de grafito (Fig. 10). Esta superficie modificada actúa eficientemente en la electroreducción del oxígeno, proceso de importancia en las celdas combustibles utilizadas para la conversión limpia de energía.

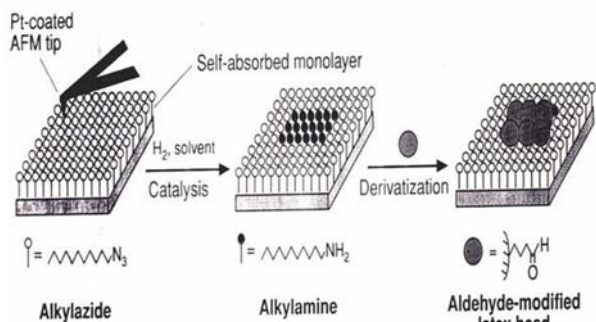


Figura 9. Esquema de la preparación de un nanocatalizador a partir de una monocapa autoadsorbida. Se emplea un microscopio de fuerzas atómicas con un “cantilever” de platino para reducir químicamente un dominio de la monocapa y, a continuación, proceder a su derivatización.

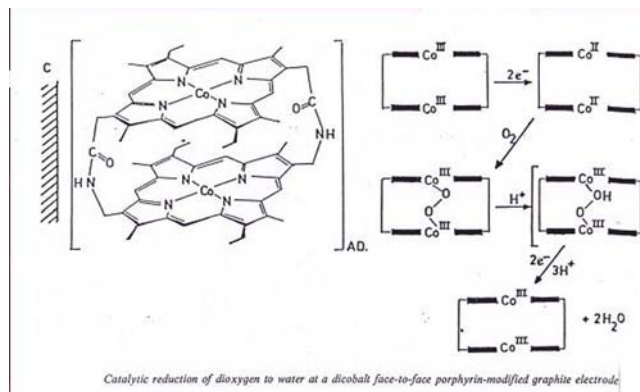


Figura 10. Esquema de un catalizador formado por la adsorción de una película de porfirina de cobalto sobre carbono. Este sistema posee actividad catalítica para la electroreducción de la molécula de oxígeno : $1/2 O_2 + H_2O + 2 e^- \rightarrow 2 OH^-$, proceso de interés en sistemas biológicos y en la conversión limpia de energía.

Características comparables resultan también en los procesos biológicos. Por ejemplo, en un número considerable de éstos, entre ellos los sistemas enzima/coenzima, las interacciones moleculares se ajustan a un acoplamiento tipo llave-cerradura (Fig. 11). Actualmente se investigan extensamente estos sistemas con el objeto de adaptarlos al desarrollo de nuevos materiales para su aplicación en celdas biocombustibles (Fig. 12).

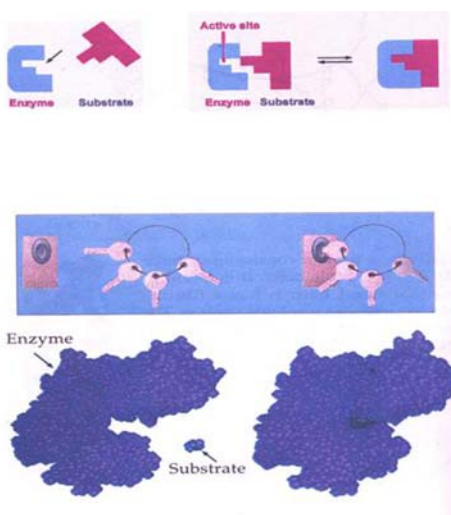


Figura 11. Esquema de un acoplamiento molecular tipo llave-cerradura, típico ejemplo en el cual se conjugan autoorganización y reconocimiento molecular.

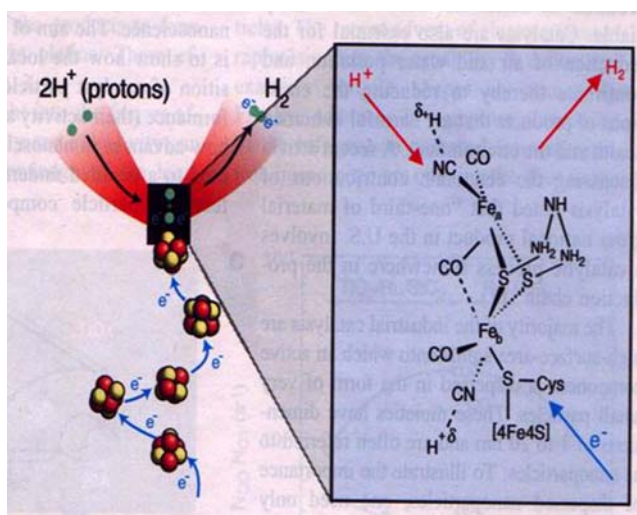


Figura 12. Enzima conteniendo en su estructura átomos de hierro. Muestra importante actividad catalítica para la electroreducción de protones a hidrógeno molecular. Este tipo de compuestos se investiga para su aplicación al desarrollo de nuevos materiales supramoleculares.

6. Unificación de las fuerzas físicas

Los constituyentes de los materiales, átomos y moléculas, determinan sus propiedades. Consecuentemente, las fuerzas que se ponen en juego en los procesos de velocidad varían desde las que actúan a nivel del núcleo atómico hasta las interacciones átomo-átomo, átomo-molécula, molécula-molécula, ión-molécula, etc. Son fuerzas de carácter electromagnético.

Por otra parte, la interacción de varios cuerpos materiales en un campo gravitatorio también debería ser el resultado de la propia estructura de la materia que los forma. Actualmente se avanza para lograr establecer una teoría unificada de las fuerzas físicas, aplicable en cualquier escala. El diagrama de la figura 13 sintetiza el desarrollo de la teoría para alcanzar la unificación de las fuerzas electromagnéticas con las fuerzas de interacción débiles y fuertes (“grand unification”) su integración con las fuerzas derivadas de las teorías de la gravitación de Newton y de Einstein (“super unification”). Las líneas continuas indican las relaciones confirmadas y las líneas discontinuas lo que falta por demostrar. En cualquier caso, este panorama contribuye a enfatizar el concepto de unidad y de universalidad de las ciencias de la naturaleza, y la necesidad de su reconocimiento en el planteo actual del proceso educativo.

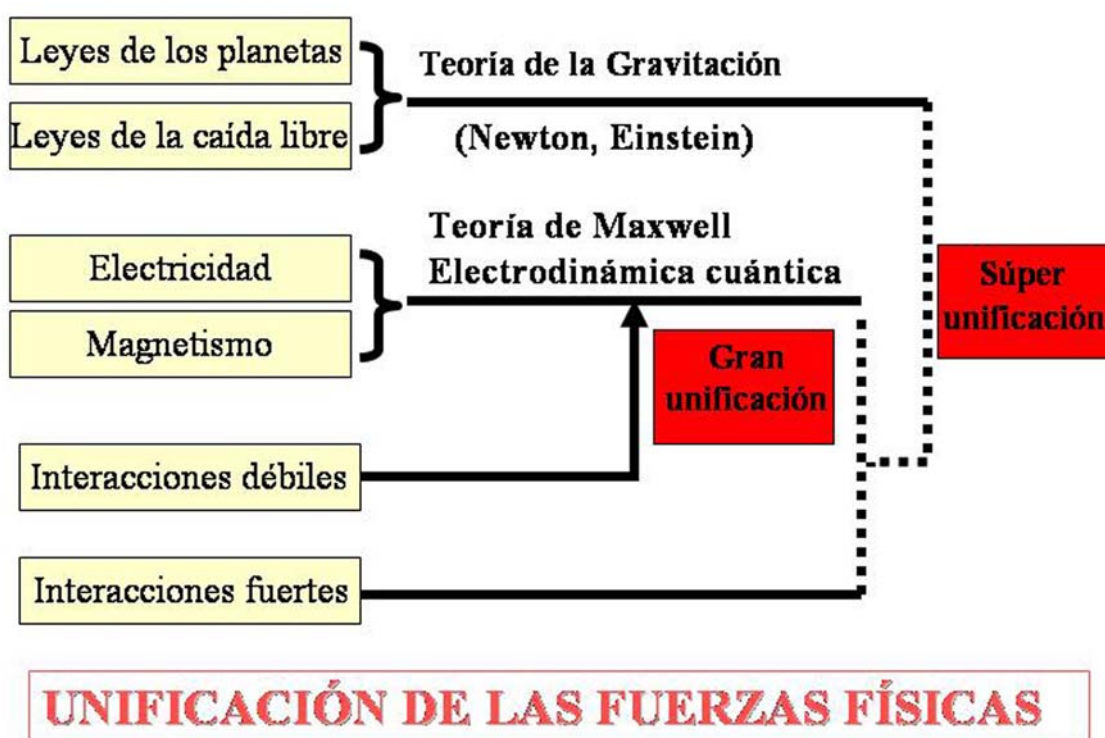


Figura 13. Diagrama de la unificación de las fuerzas físicas. Las líneas llenas muestran la teoría aceptada y las punteadas las metas que se esperan alcanzar.



7. Un tratamiento unificado de las ciencias naturales

La descripción precedente muestra un panorama sucinto de los avances de la ciencia en los últimos setenta años que debe ser considerado en la enseñanza actual de las ciencias de la naturaleza. Los ejemplos presentados constituyen sistemas funcionales supramoleculares entre cuyas propiedades destacadas se distinguen la de autoorganización molecular y la de reconocimiento molecular. Estas propiedades constituyen la base de un marco unificado de las ciencias de la naturaleza en el cual se consideran dos polos. Hacia uno de ellos convergen los problemas relacionados de la vida (ciencia de la vida) y hacia el otro, los relacionados con los materiales (ciencia de los materiales). En ambas ciencias aquellas propiedades, autoorganización y reconocimiento molecular, que son consecuencia de la estructura atómica y molecular de la materia. En este marco se integran las disciplinas tradicionales, por ejemplo, la matemática, la física, la química y la biología y, por consiguiente, en el estado actual de nuestros conocimientos, las barreras interdisciplinarias desaparecen. En este marco subyace la importancia fundamental de la matemática proveyendo las armas necesarias para los tratamientos cuantitativos y para los modelos fenomenológicos y predictivos. Estas armas son comunes a todos los fenómenos y se adecuan seleccionando las variables apropiadas para cada sistema.

Hay diversas propuestas relacionadas con la educación en las ciencias de la naturaleza orientadas a destacar la universalidad del conocimiento. El esquema de la propuesta de H. Ringsdorf, se muestra en la figura 14. Está construido en torno a diversos sistemas funcionales supramoleculares tales como células, liposomas, enzimas, acoplamiento llave-cerradura, proteínas cristalizadas, micelas, superficies funcionalizadas, cristales líquidos, multicapas y monocapas. Los primeros se asocian preferentemente con la ciencia de la vida; los últimos con la ciencia de los materiales; los intermedios son de interés en ambos campos.



Figura 14. Esquema unificado para las ciencias de la naturaleza, propuesto por H. Ringsdorf, en base a la descripción de sistemas funcionales supramoleculares.

El desarrollo de una propuesta como la expuesta antes presenta importantes desafíos. Uno de ellos es contar con profesores de ciencia adecuadamente formados e interesados en participar en un proceso de actualización permanente. Los programas de ciencia deberán ser suficientemente flexibles para ajustarse a los avances de la ciencia y de la técnica, pero sus contenidos equilibrados y cuidadosamente manejados dando prioridad a lo conceptual sobre lo enciclopédico, incentivando la creatividad del estudiante, teniendo en cuenta que el aprendizaje es un trabajo que requiere condiciones intelectuales y dedicación. Se debe ofrecer a todos por igual, aunque dando diferentes salidas de acuerdo a la habilidad y destreza manual y mental de cada uno. Solamente con estas ideas se podrá evitar la marginación de los egresados y augurarles una vida de plena realización personal y social. En la puesta en marcha de estas tareas es insoslayable la participación de las universidades, de los centros de investigación y de fomentar una fuerte motivación entre científicos y tecnólogos en una actividad de relevancia social e indispensable para el progreso del país.



8. Conclusiones

i) El planteo actual de las ciencias de la naturaleza se basa en la consideración de los sistemas naturales como sistemas complejos. De esta manera, apoyándose en la matemática, se descubren comportamientos universales que ayudan a la comprensión global de los fenómenos de la naturaleza y de los relacionados con materiales producidos por el hombre.

La autoorganización y el reconocimiento funcional de los sistemas permiten agrupar bajo el nombre de sistemas funcionales supramoleculares a gran parte de los sistemas asociados con la vida (ciencia de la vida) y con los materiales (ciencia de los materiales). Un replanteo de propuesta educativa para las ciencias de la naturaleza con esas bases abrirá nuevos caminos en la ingeniería de nuevos procesos y de nuevos materiales, y ayudará a extender y profundizar los vínculos con otras disciplinas relacionadas con la problemática económica y social.

ii) La visión propuesta significa un fuerte desafío a la enseñanza integrada de las ciencias de la naturaleza en todos los niveles como parte de la cultura de una sociedad del siglo XXI. Plantea la exigencia de contar con docentes dotados con buenos conocimientos científicos, en un proceso sistemático de actualización que los capacite para manejar la flexibilidad curricular que demanda el impresionante avance de la ciencia y de la técnica.

iii) Requiere mantener a la sociedad y al país como activos participantes en el desarrollo científico y tecnológico universal y al país como activo participante en los foros internacionales relacionados con el desarrollo y la aplicación sustentables de la ciencia y de la técnica.

iv) Otro aspecto, no menos importante que los anteriores es el reconocimiento del valor de la integración de las ciencias naturales, de las ciencias sociales y de las humanidades en la formación ética de las personas en lo individual y en lo social. Servirá para aumentar su capacidad y discernimiento en uso de la libertad para la elección de lo mejor. Incluirá decisiones responsables en la selección de los caminos de aplicación de la ciencia y de la técnica. Entonces el comportamiento ético y social del hombre frente a sus semejantes se basará en respetar al otro, considerar al medio como bien social que debe preservarse y al conocimiento como patrimonio de la humanidad. Así se consolidará un compromiso global para asegurar que la ciencia y la tecnología produzcan riqueza y realimenten la capacidad de más ciencia y más tecnología garantizando un desarrollo sustentable.



9. Bibliografía de extensión

1. J. D. Barrow, F. J. Tipler, "The Anthropic Cosmological Principle", Oxford University Press, 1986.
2. H. Ringsdorf, *Angewandte Chemie Int. Ed.* 29, 1269, 1990.
3. F. Dyson, "El Infinito en todas Direcciones", Tusquets Editores, Barcelona, 1991.
4. A. Ullman, "An Introduction to Ultrathin Organic Films from Langmuir-Blodgett to Self-Assembly", Academic Press, San Diego, California, 1991.
5. Prigogine, "Les Lois du Chaos", G. Laterza, Roma-Bari, 1993.
6. A. L. Barabási, H. E. Stanley, "Fractal Concepts in Surface Growth", Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
7. J. Brockman, "La Tercera Cultura", Tusquets Editores, Barcelona, 1995.
8. Prigogine, "El Fin de las Certidumbres", Editorial Andrés Bello, Santiago de Chile, 1996.
9. K. Mainzer, "Thinking in Complexity", 3ra. Edición, Springer, Berlin, New York, 1997.
10. Jensen, "Self-Organized Criticality", *Lecture Notes in Physics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
11. P. Gaspard, "Chaos, Scattering and Statistical Mechanics", Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
12. R. C. Murray, *Advances in Electroanalytical Chemistry*, M. Dekker, New York, 1984; J. H. Zagal, *Coord. Chem. Rev.* 119, 89, 1992; T. Chen, S. C. Barton, G. Benyamin, Z. Gao, Y. Zhang, H.-H. Kim, A. Heller, *Journal of the American Chemical Society*. 123, 8630, 2004.
13. Baszkin, W. Norde (editores), "Physical Chemistry of Biological Interfaces", M. Dekker, New York, Basel, 2000.
14. Giussani, "Il Rischio Educativo", *Fraternità Comunione e Liberazioni*, Milano, 2004.
15. Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, "Hidrógeno y la Energía del Futuro", *Serie Publicaciones Científicas No. 1*, 2004.
16. M. Novak (editor), "Thinking in Patterns", World Scientific, Singapore, 2004.
17. A. Heller, *Physical Chemistry and Chemical Physics* 6, 209-216, 2004.
18. A.J. Arvia, R. C. Salvarezza, W. E. Triaca, *Journal of New Materials for Electrochemical Systems* 7, 133-143, 2004.
19. C. Salvarezza, A. J. Arvia, *Current Topics in Electrochemistry*, volumen 10, pp. 89-140, 2004.
20. A. Hernández Creus, Y. Gimeno, R. C. Salvarezza, A. J. Arvia, "Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology", volumen 2, pp. 221-235, American Scientific Publishers, 2004.
21. P. Tundo, R. Hoyos de Rossi (editores), "Química Verde en Latinoamérica" *Green Chemistry Series No. 11*, IUPAC-INCA, Marghera, Venecia, 2004.
22. G. Farmelo, "Equilibrio Perfetto", *Il Saggiatore*, Milano, 2005.