

**NANOTECNOLOGÍA HOY:
EL DESAFÍO DE CONOCER Y ENSEÑAR**

DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED



ESCRITURA EN CIENCIAS

DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED



Instituto Nacional
de Formación Docente
Ministerio de Educación
Presidencia de la Nación

Presidenta de la Nación
Cristina Fernández De Kirchner

Ministro de Educación
Alberto Sileoni

Secretaria de Educación
Jaime Perczyk

Secretario del Consejo Federal de Educación
Daniel Belinche

Secretario de Políticas Universitarias
Martín Gil

Subsecretario de Planeamiento Educativo
Marisa del Carmen Díaz

Subsecretaria de Equidad y Calidad
Gabriel Brener

Instituto Nacional de Formación docente
Verónica Piovani

Dirección Nacional de Formación Docente e Investigación
Andrea Molinari

Coordinadora de Investigación Educativa del INFD
Inés Cappellacci

PRESENTACIÓN

Los libros que se presentan en esta edición completan la colección de 18 títulos que integran Escritura en Ciencias, el dispositivo de formación que desarrollamos desde 2010 en el Instituto Nacional de Formación Docente del Ministerio de Educación de la Nación. Con esta entrega culminamos un proceso de tres largos años de experiencia en llevar adelante acciones que tienen como protagonistas principales a profesores de institutos de profesorado de ciencias del país. En esta oportunidad los autores provienen de la Ciudad autónoma de Buenos Aires y de las provincias de Buenos Aires, Catamarca, Chaco, Chubut, Córdoba, Formosa, Jujuy, La Pampa, La Rioja, Mendoza, Neuquén, Río Negro, Salta, San Luis, Santa Cruz, Santa Fe y Tierra del Fuego.

En esta ocasión se agregan los siguientes seis títulos:

13. Biotecnología: entre células, genes e ingenio humano
14. Convergencia: electrónica, informática y telecomunicaciones
15. Nanotecnología Hoy: el desafío de conocer y enseñar
16. Alimentos: historia, presente y futuro
17. Radiaciones: Una mirada multidimensional
18. Los movimientos en el planeta tierra

Los libros publicados anteriormente¹ han servido de referencia en el trabajo de ajuste y de reescritura constante del dispositivo para mantener la pertinencia de su propósito, haciendo extensiva a nuevos lectores la invitación de acompañar este proceso. Así, el tercer ciclo del proyecto, que transcurrió entre 2013 y 2014, mediante el que se escribieron los volúmenes 13 al 18, estuvo enriquecido por diferentes instancias de difusión: en algunos casos, como consecuencia de que el proceso se hizo visible en las distintas provincias a través de los profesores autores que empezaron a utilizar el material publicado en sus clases y que difundieron, en el boca en boca, el trabajo con sus propios colegas.

1. Los plaguicidas, aquí y ahora; 2. H2O en estado vulnerable; 3. Del gen a la proteína; 4. La multiplicidad de la vida; 5. Cerebro y memoria; 6. La evolución biológica, actualidad y debates; 7. Ecosistemas terrestres; 8. Ecosistemas acuáticos; 9. El big bang y la física del cosmos; 10. Cambio climático; 11. Energía: características y contextos; 12. Epidemias y salud pública.

Otra instancia de promoción fue el resultado de la adhesión y acompañamiento que encontramos en las asociaciones de profesores tanto de biología (ADBIA), física (APFA) y química (ADEQRA), en cuyos foros específicos en diferentes provincias pudimos compartir y comunicar este proyecto con profesores de todo el país. Nuestra preocupación fue hacer dialogar la experiencia en contextos y ámbitos especializados diversos, como una manera de tomar contacto con inquietudes e intereses genuinos que provienen de los diferentes ámbitos vinculados a la enseñanza de las ciencias en el país. En este sentido, siempre una primera carta de presentación fue posible gracias al acompañamiento constante que hemos tenido de la Revista Ciencia Hoy y de la oficina de UNESCO en Montevideo, Uruguay.

En las presentaciones de los volúmenes anteriores hemos descrito la organización y dinámica del dispositivo así como las lógicas de funcionamiento y algunas estrategias fundantes del trabajo propuesto en Escritura. Pero no quisiéramos dejar de referirnos a otros componentes fundamentales que acompañaron el transcurso de este trayecto, sin cuya presencia no tendríamos los resultados que se pueden mostrar hoy con la colección completa: los aportes de los investigadores de referencia de cada uno de los temas, visibilizados no sólo en las conferencias magistrales de inicio, que resultan un valioso recurso didáctico del proyecto, sino en el acompañamiento temático a lo largo del desarrollo de los libros. Esta tarea se pone en diálogo todo el tiempo con el trabajo de los coordinadores de escritura que sostienen a los profesores en el proceso de escribir los libros.

En este dispositivo la escritura está concebida como una mediación relevante para los procesos de conocimiento, lo cual se traduce en un trabajo intelectual que requiere de planificaciones, ensayos, intentos, revisiones, rectificaciones, lecturas activas para buscar y construir conocimiento, y es por ello, que se propone esta práctica como un aprendizaje en cada nuevo contexto que la demanda. Pero la complejidad de la tarea de escribir supone además la puesta en escena de prácticas propias de una comunidad discursiva específica. En este punto se requieren siempre orientaciones expertas como parte fundamental de condiciones necesarias para sostener un proceso completo que permita llegar a las producciones finales.

En el dispositivo de Escritura en Ciencias el trabajo colaborativo fue un tejido de difícil trama entre diferentes instancias: Equipo INFD y coordinadores, para el diseño y la puesta en práctica de secuencias de escritura que se jugaron en procesos organizados en torno de la devolución y el intercambio entre pares y entre

profesores e investigadores de referencia sobre el tema del libro².

Este punto requiere una explicitación particular: aprender en colaboración con investigadores ha sido mucho más que un enunciado de buenas intenciones, más bien un objetivo centrado en prácticas horizontales donde se suspende por un rato la investidura jerárquica de los roles de los especialistas que acompañan y se insta a que todos asuman un proceso continuo de intercambio y discusión. Este trabajo consiste en reproducir prácticas y modos de enunciación de las comunidades científicas de referencia, en las cuales la construcción del conocimiento se realiza por argumentaciones que se van consolidando mediante el estudio y consultas de fuentes bibliográficas actualizadas, que permiten a los profesores fortalecer las propias posiciones y el vínculo con el conocimiento.

Lo que entraña de relevante esta acción de innovación radica en ayudar a vincular perfiles y trayectorias profesionales que no se vinculan con frecuencia. Los profesores participantes muchas veces conocen a los investigadores a través de la bibliografía, pero nunca han pensado en sentarse a discutir un tema con ellos. Estos intercambios producen una fuerte motivación de los grupos participantes que los lleva a comprender la relevancia de ese vínculo.

El efecto producido por esta acción se evidencia en la apropiación que los grupos hacen del proyecto, y valoran positivamente la oportunidad de formar parte de él. Se observan claros indicios de trabajo colaborativo entre pares en variados gestos de recomendaciones de bibliografía o materiales y en sugerencias sobre el escrito de los colegas emulando, a veces, prácticas que han vivido durante este proceso de parte de los investigadores.

Las prácticas mencionadas representan una puesta en diálogo de dos lógicas institucionales que no siempre conviven y tampoco producen en conjunto. Pero este es sólo un camino entre tantos otros, que muestra articulaciones posibles entre saberes de las universidades y grandes centros de investigación con el trabajo de los profesores del sistema formador argentino. Se evidencia aquí una manera en que se actualizan y se recrean aprendizajes, que no corren nunca en una sola dirección, como sostiene el Dr. Crisci, sino que en este proceso el aprendizaje se fecunda en ambos sentidos.

2 Los investigadores que asesoraron a los profesores durante todo el proceso de escritura de los libros son: Dr. Raúl Alzogaray, Dr. Rubén Blesa, Dr. Alberto Kornblith, Dr. Manuel Muñoz, Dr. Jorge Crisci, Dra. Noel Federman; Dr. Esteban Hasson; Dr. Rolando León; Dr. Juan López Gappa; Dr. Alejandro Gangui; Dra. Marcela González; Dr. Jorge Natera; Dr. Mario Lozano; Lic. Alberto Díaz; Ing. Carlos Palotti; Dr. Galo Soler Illia; Dra. Laura Malec; Dr. Jorge Torga; Dr. Silvio Peralta.

El otro soporte ineludible en el proceso de escritura de los libros, lo constituyen los coordinadores de escritura. Los textos de Escritura en Ciencias llevan un tiempo de gestación y reelaboración, surgidos de un boceto inicial que sigue un itinerario de constante transformación de ideas preliminares hacia el camino del texto. Este avance no podría ocurrir sin la intervención de los coordinadores como figuras que reenvían todo el tiempo a la tarea de escribir y moderan los intercambios que van dando forma de texto a los incipientes borradores. Este trabajo contempla los posibles obstáculos y dificultades que emergen: un trabajo situado y pertinente que está hecho de oficio en la lectura de borradores, en devoluciones ajustadas al proceso, pero no pocas veces implicado en gestionar las zozobras y conflictos en que ingresan los participantes para poner en molde de escritura ideas, lecturas y argumentos.

Los seis últimos libros que completan esta colección tienen la estructura experimentada en la edición anterior, cada capítulo de autoría individual, al que se suma como cierre un capítulo dedicado a la enseñanza de las ciencias. Este apartado tiene autoría compartida y sus orientaciones son diversas: contiene propuestas, reflexiones o ideas para pensar la enseñanza de cada uno de los temas. También en su conjunto refleja un ensayo que amerita seguir intentando, toda vez que se vuelve un terreno donde se hacen visibles posibilidades, tensiones, vacancias en las oportunidades que los docentes suelen tener para reflexionar sobre sus prácticas.

Por el momento en que escribimos esta presentación, el proyecto Escritura en Ciencias ha sido distinguido con el premio "Paulo Freire" a la innovación educativa en enseñanza de las ciencias (PASEM). Por este estímulo, nuestro agradecimiento se anuda al deseo de que la autoría pueda ser visibilizada como parte constitutiva de la tarea docente y permita enriquecer propuestas formativas que procuran ligar el desarrollo a los aprendizajes profesionales, modulando con otras notas las representaciones sociales en torno de este complejo trabajo. Y una vez más, nuestra intención es aportar los libros y esta colección no para ser leídos como obra cerrada y terminada, sino para inspirar reescrituras posibles en otras ideas y proyectos que impliquen fuertemente las ciencias con la lectura y la escritura en la formación docente.

Liliana Calderón

Coordinación Escritura en Ciencias (Área Investigación INFD)

ESCRITURA EN CIENCIAS

NANOTECNOLOGÍA HOY: EL DESAFÍO DE CONOCER Y ENSEÑAR

Autores:

Sergio Oscar Silvestri
Ana Cecilia Munuce
María Eugenia Alassia
Alicia Seferian
Ana Reviglio
Luis Ricardo Soria

Orientación y asesoramiento científico: Galo Soler Illia

Coordinación de Escritura: Marcelo Alejandro Diez

Autores

Sergio Oscar Silvestri
Ana Cecilia Munuce
María Eugenia Alassia
Alicia Seferian
Ana Reviglio
Luis Ricardo Soria

Equipo Escritura en Ciencias del Instituto Nacional de Formación Docente

Liliana Calderón, Carmen E. Gómez y Antonio Gutiérrez

Orientación y asesoramiento científico

Galo Soler Illia

Coordinación de escritura

Marcelo Alejandro Diez

Diseño editorial

Renata Kándico, Gastón Genovese www.estudiolate.org

Hecho el depósito que establece la ley 11.723

“Los textos de este libro son copyleft. El autor y el editor autorizan la copia, distribución y citado de los mismos en cualquier medio y formato, siempre y cuando sea sin fines de lucro, el autor sea reconocido como tal, se cite la presente edición como fuente original, y se informe al autor. La reproducción de los textos con fines comerciales queda expresamente prohibida sin el permiso expreso del editor. Toda obra o edición que utilice estos textos, con o sin fines de lucro, deberá conceder es-tos derechos expresamente mediante la inclusión de la presente cláusula copyleft.”

Nanotecnología hoy : el desafío de conocer y enseñar /
Sergio Oscar Silvestri ... [et.al.]. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de
Buenos Aires :

Ministerio de Educación de la Nación, 2014.
194 p. : il. ; 15x21 cm. - (Escritura en ciencias; 15)

ISBN 978-950-00-1045-0

1. Educación en Ciencias. I. Silvestri, Sergio Oscar
CDD 507.11

Fecha de catalogación: 22/09/2014

ÍNDICE

Presentación	5
Introducción	17
Capítulo I: Introducción	19
Sergio Oscar Silvestri	
Los modelos, la ciencia y la naturaleza	19
El tamaño importa	22
Macro, cuanto y nano	24
La relación Área/Volumen: nuevas propiedades	28
La nanotecnología en nuestra vida	30
La nanotecnología y las otras ciencias	31
La necesidad de una nanociencia	34
Capítulo a capítulo: un breve recorrido, casi náutico	36
Un poco de humor náutico	38
Capítulo II: Biografía no autorizada de las nanopartículas	41
Ana Cecilia Munuce	
Un Pasado Muy Lejano	41
Nanopartículas a la Americana	43
Antecedentes en la Medicina	45
Tiempos modernos	45
Grandes personajes	46
Michel Faraday: un Visionario	46
Richard Feynman: el gran provocador	48
El futurólogo Erik Drexler	49
Grandes acontecimientos y descubrimientos	51
La miniaturización: una puerta al mundo nano	51
El descubrimiento de los fullerenos	53
La Historia oficial de los nanotubos	53
Sentando bases para el autoensamblaje	55
Grandes Aliados	57
La puerta para ver átomos	57
Mirando más al fondo: El microscopio de fuerza atómica (AFM)	59
Nanomotores	61

Ensamblador nanotecnológico	62	Qué son los biosensores	97
Capítulo III: Nanomateriales: construyendo la nanotecnología	65	Biosensores de glucosa	99
María Eugenia Alassia		Alimentos frescos controlados mediante biosensores	101
El origen de las propiedades extraordinarias	67	Nanopartículas magnéticas	102
Átomos, moléculas y sólidos	67	Uso de las nanopartículas magnéticas como agente de contraste en diagnóstico por imágenes	102
Estructura electrónica de los nanomateriales	70	Uso de las nanopartículas magnéticas para el abordaje de ciertos tumores	103
Nanopartículas: Cero dimensión en el mundo de los nanomateriales	71	Marcadores fluorescentes y nanopartículas	104
Obtención	72	¿Cómo vemos lo invisible? puntos cuánticos y usos como marcadores biológicos	104
Propiedades	73	¿Cómo ingresan los puntos cuánticos a los tumores?	105
Nanopartículas en la naturaleza: liposomas	74	¿Cómo se fabrican los nanocristales coloidales?	105
Nanotubos de carbono: un carbono muy particular	74	PCs que facilitan neurocirugías	106
Obtención	77	Ósmosis inversa vs Nanofiltros	106
Propiedades	77	¿Qué es y cómo funciona un nanofiltro?	107
Nanotubos en la naturaleza	78	Radiación solar y nanopartículas de TiO ₂ : antimicrobiano que supera a la "lavandina"	108
Películas nanométricas: recubrimientos en la nanoescala	79	Recubrimientos bioactivos en pinturas al látex fabricados en nuestro país.	109
Obtención	81	Cristales líquidos, nanocristales naturales	109
Propiedades	81	¿Qué relación existe entre el color que se observa en el cristal líquido y la variación de la temperatura?	110
Películas nanométricas en la naturaleza	82	Kevlar: ¿Un cristal líquido?	111
Otras películas nanométricas: Películas obtenidas en fase vapor	83	Capítulo V: La nanotecnología que vendrá: posibilidades y responsabilidades	113
Otros nanomateriales de interés	84	Ana Reviglio	
Nanoalambres: el conductor nanométrico	84	Nanotecnología aplicada a la salud	114
Materiales nanoporosos	85	De células, tejidos y transplantes	114
Nanoestructuras en materiales convencionales	86	Mejor los nanorremedios... ..	119
Capítulo IV: Nanomateriales: aplicaciones actuales	89	Modificando los genes	121
Alicia E. Seferian		Resumiendo	121
El efecto deseado en el sitio justo: nanosferas de liposomas y quitosanos ...	90	Nanotecnología aplicada a la actividad industrial	122
Transportadores nanoscópicos de formulaciones cosméticas	90	Hágase la energía	122
Liposomas	90	Tela, papel y tijera	123
Quitosanos para el transporte de principios activos en medicina	93		
Nanopartículas y nanotubos de plata: usos en medicina y electrónica	94		
Plata coloidal	94		
Film de material conductor diseñado con hilos de plata	95		
Pinturas bactericidas fotocatalíticas fabricadas con nanopartículas de TiO ₂	96		

El nano-constructor	124
Al pan, pan y al vino, vino	125
Nanotecnología aplicada a la preservación del medio ambiente	126
Agua que has de beber...	126
Protegerás tu siembra	127
Cuidando a Mater Natura	128
Nanotecnología aplicada a la producción de alimentos	130
Dime lo que comes y te diré quién eres	130
Hecho para durar	131
Nada que perder	132
Para el paladar más exigente	133
Que tenga un buen viaje	134
Algunas cuestiones que merecen reflexión	135
Usos responsables de la nanotecnología	136
Capítulo VI: Nanotecnología en Argentina	143
Luis Ricardo Soria	
Política de estado	143
Equipos de Investigación y desarrollo	145
Aplicaciones actuales en nuestro país	146
Nuevo paradigma y nanosatélites	150
Empresas	152
Futuro	152
Educación	155
Capítulo VII: Por qué y para qué enseñar nanotecnología en las escuelas ...	159
Introducción	159
Nanotecnología en educación	161
El abordaje CTSA (Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente) en la enseñanza de la nanotecnología	163
Estrategias didácticas para la enseñanza y el aprendizaje de la nanotecnología	166
Modelos y analogías	166
Estrategias didácticas con TIC	169
Trabajos prácticos en laboratorio	174
Posibilidades, limitaciones y obstáculos de la enseñanza de lo nano	181

Consideraciones finales	182
Bibliografía	184

INTRODUCCIÓN

Este libro es el resultado del esfuerzo conjunto de un grupo de profesores de Institutos de Formación Docente de distintas provincias en el marco del proyecto de *Escritura en Ciencias* convocados por el Instituto Nacional de Formación Docente. En él han logrado reunir sus expectativas, experiencias y diversidad académica además de su creatividad y capacidad para producir en conjunto y armónicamente. El anhelo de muchos docentes, muy especialmente el de los formadores de formadores, es poder llegar a producir y publicar un libro, en este caso el resultado de la tarea compartida es una aproximación a un mundo no tan nuevo, pero si asombroso, cautivante y un “punto mágico”: la nanotecnología.

Hoy se sabe que las propiedades del mundo *nano* han sido aprovechadas por la humanidad en distintos momentos históricos de manera empírica. Sin embargo, el conocimiento de las propiedades extraordinarias de los nanomateriales y sus posibilidades de aplicación representan una de las novedades científicas de los últimos tiempos.

La nanotecnología integra saberes convergentes, propone desafíos cognitivos plurales y ofrece soluciones variadas para problemáticas cotidianas. De esta manera, enseñar nanotecnología se constituye en un deber de la práctica docente como forma de democratizar el acceso al conocimiento.

Este libro aspira constituirse en un mojón para aquellos docentes y alumnos que necesiten y quieran asomarse a una de las áreas más novedosas y más prometedoras de la ciencia actual. En sus páginas, de lectura amena, encontrarán información rigurosa y actualizada sobre el estado del arte en esta disciplina. La didáctica no ha quedado excluida de un texto aparentemente técnico, y en todos los capítulos se advierte la pluma guiada por la mano docente. Asimismo, se han incluido páginas con indicaciones y estrategias didácticas que pueden facilitar el abordaje de los contenidos del libro en los distintos niveles de la enseñanza. Todo esto dotado de un espacio para la búsqueda autónoma y la elección de nuevos recursos metodológicos que permitan el desarrollo de habilidades cognitivo-lingüísticas y metacognitivas.

La invitación está hecha, solo queda recorrer sus páginas.

CAPÍTULO I

Introducción

Sergio Oscar Silvestri

Los modelos, la ciencia y la Naturaleza

En la enseñanza de las ciencias naturales, en sus variantes formal e informal, escolarizada o de divulgación, es más frecuente de lo deseable que, quién pone a disposición sus conocimientos a los aprehendientes o ávidos curiosos, obvie uno de los fundamentos sobre los que se han construido estas ciencias: los modelos.

*En el portal **educ.ar**, se puede leer:*

Conceptos, modelos, teorías, y leyes son sistemas explicativos que usamos para dar cuenta de las observaciones. Estos son abstracciones que se alejan de la realidad observada, pero que nos sirven para explicar, interpretar y predecir lo que observamos. Estas construcciones teóricas deben tener un sustento evidencial; se basan, generalmente, en evidencias. Este aspecto de la ciencia está relacionado con la capacidad creativa de los científicos. En los párrafos siguientes discutiremos el uso de modelos, ya que es muy corriente en la escuela media. (Martini, M. 2006)

Si bien el texto aclara que el uso de los modelos es habitual para la enseñanza de la ciencia en la escuela media, su explicitación por parte de los docentes no es tan evidente.

La cita que sigue refuerza la idea acerca de cómo la ciencia modeliza la naturaleza para estudiarla y alcanzar el objetivo de predecir su comportamiento, siempre sabiendo que se lo hace desde un modelo:

La modelización es el modo de abordaje típico de la investigación científica en

muchas áreas de las ciencias naturales, y por ello forma parte de los contenidos a ser enseñados. Con este propósito, su tratamiento se articula tanto con el estudio de diversos sistemas físicos como también con las actividades y procedimientos típicos de las ciencias experimentales, como la medición, la obtención de gráficas y la decisión sobre el ajuste empírico. (Amantea, A et al, p.11, 2009).

Es necesario que los docentes recuerden permanentemente a sus alumnos y, también es obligación de los divulgadores científicos tomarse algunos renglones o momentos para explicitar qué modelo se está utilizando para describir a la naturaleza.

Los modelos han servido a lo largo de la historia de la ciencia para este fin. Operan como una aproximación a lo que se quiere describir que, permite manejar un número de variables acorde a las respuestas que se buscan y las herramientas disponibles para manejarlas. Si el modelo tiene un buen poder de predicción, es decir que los resultados obtenidos con él son acordes a lo que ocurre en la naturaleza, el modelo suma adhesiones y los científicos que lo proponen suman prestigio. Llegado el punto en que las predicciones comienzan a separarse de la realidad, estos científicos prestigiosos se van alejando de la naturaleza agregando "cinturones de seguridad" al modelo (al decir de Lákatos cinturón protector del núcleo central del programa de investigación), para mantenerlo dentro de la inercia de las teorías científicas que explican la naturaleza y no ser expulsados del tren en marcha del conocimiento, con sus frenos y cambios de rumbo: "La madre naturaleza es una malvada" (Bloch, A. p.22, 1987), décimo corolario de la Ley de Murphy.

Desde los movimientos naturales y los movimientos violentos de Aristóteles (384 a.C. - 322 a. C.), pasando por un Universo estático de Newton (1643-1727), hasta Einstein (1879 - 1955) y la curvatura del espacio-tiempo, observamos cómo la ciencia modificó, cada modelo por otro con mayor poder de predicción. Del átomo de Dalton (1766 - 1844) al modelo matemático del átomo; desde la teoría de la generación espontánea propuestas por Aristóteles y Jan Baptista van Helmont (1579-1644) a la teoría de la evolución de Darwin, llegando al ADN y la genética; desde una tierra plana a las placas tectónicas, cada rama de la ciencia natural, y las ciencias naturales en su conjunto, evolucionaron en un ida y vuelta entre nuevos conocimientos y nuevas tecnologías que permitían adquirir nuevos conocimientos, sin dejar de mencionar una importante dialéctica histórica entre conocimiento y poder. Poder y conocimiento siempre fueron y son una dupla que forma parte de una misma moneda pero no de dos caras. Una moneda con una cara casi infinita que se contorsiona y envuelve a la otra impidiendo verla con claridad.

Galileo Galilei (1564-1642), Giordano Bruno (1545-1600) y otros pueden representar alguna de las caras de la moneda en la historia. Más acá en el tiempo, la bomba atómica y la carrera espacial por poner a un hombre en la luna representan como el poder ha puesto recursos para que la ciencia le devuelva resultados que signifiquen más poder. Queda en el lector el trabajo de discernir cuál es la cara que envuelve a la otra en cada momento.

La nanotecnología, como una nueva rama dentro del conocimiento científico, propuso, propone y está en búsqueda constante del modelo que mejor ajusta a los sucesos que ocurren en escala nano. El descubrimiento permanente de formas y propiedades novedosas en esta escala hace necesario que, esta innovadora, pero no tan nueva, rama de la ciencia y la tecnología, se nutra de diferentes modelos que provienen de disciplinas variadas, como la física cuántica y la química moderna, que tienen enfoques distintos para observar la materia. La naturaleza se comporta como es, el modelo, los modelos, de la nanotecnología solo tratan de describir y poder anticipar qué puede ocurrir en determinadas circunstancias donde las dimensiones son del orden de las dimensiones atómicas o moleculares. Al decir del físico Richard Feynmann (1918 - 1988) en su famosa conferencia del 29 de diciembre de 1959:

En el mundo de lo muy, muy pequeño, muchas cosas nuevas podrán suceder, porque los átomos se comportan de manera distinta a como lo hacen los objetos a mayor escala, pues deben satisfacer las leyes de la mecánica cuántica. Si nos reducimos y comenzamos a jugar con los átomos allá abajo, estaremos sometidos a unas leyes diferentes, y podremos hacer cosas diferentes. A nivel atómico, aparecen nuevos tipos de fuerzas, nuevas posibilidades, nuevos efectos. (Feynmann, R. 1959)

Imre Lákatos y el Programa de Investigación Científica

Nacido como Imre Lipschitz en 1922 en Hungría, cambió su apellido para escapar de la persecución nazi debido a su origen judío. Muere en Londres en 1974.

Para Lákatos una teoría científica es el resultado de una sucesión de teorías científicas. En todas es posible encontrar un núcleo firme o duro. Este se encuentra rodeado por un cinturón protector, formado por hipótesis auxiliares, que se pueden modificar, reemplazar o aún eliminar. Esto permite mantener el núcleo central impidiendo su falsación. Por ejemplo el modelo copernicano del universo tiene como núcleo central los supuestos que el sol está en el centro inmóvil y la tierra, los planetas y las estrellas giran a su alrededor sobre órbitas circulares. Cómo cinturón protector podemos nombrar a los epiciclos que Copérnico, Kepler

y otros agregaron para justificar las órbitas circulares de los planetas.

Mientras el núcleo duro junto con el cinturón protector permita encontrar nuevos conocimientos descubriendo hechos y fenómenos, el programa es progresivo. Cuando en el cinturón protector, se amontonan hipótesis auxiliares cada más específicas para evitar la falsación del núcleo firme, y no permite conocer nuevos hechos o fenómenos por mucho tiempo, el programa se convierte en regresivo. Es posible que se este en camino de un cambio de paradigma o revolución científica.

El tamaño importa

Distintos modelos, que intentaron e intentan describir a la naturaleza, contribuyeron al supuesto dominio del hombre y su intelecto sobre ella, de la cual a veces parece creer no formar parte. Desde finales del siglo XIX y hasta nuestros días, distintas ramas del conocimiento fueron estableciendo modelos con niveles de predicción cada vez más potentes, que además se complementan y fundamentan con modelos de otras ciencias. Las contradicciones con nuevos fenómenos motivan para mejorar y completar los modelos para que resulten más coherentes, más explicativos y fuertemente predictivos. La física y la química se complementan en muchos objetos de estudio y en alguno se rozan. Esos roces provocan recalentamiento no solo profesional sino lo que es mejor, recalentamiento de conocimiento. En esas zonas de frontera donde se "ataca" a la naturaleza con el fuego cruzado de los modelos de dos o más ciencias surge más y mejor conocimiento. Por ejemplo, los conocimientos actuales sobre el átomo y las moléculas son producto del aporte de los modelos de la química y la física. Quizás este hecho llevó más rápidamente a observar que "pasan cosas raras" en cierto nivel de la materia, que los modelos aplicados desde cada una por separado no pueden terminar de explicar. La biología "metida" a explicar por qué "pasan cosas raras" y recurriendo a la ayuda de la física y la química, las interpela de tal modo que sus modelos establecidos se hacen insuficientes.

Es el momento de afirmar que: el tamaño importa. No estamos haciendo una afirmación capciosa que desvía nuestra atención del tema en cuestión. Que el tamaño importa significa que, tratando de ajustar las propiedades de la naturaleza dentro de un modelo, los fenómenos observados no tienen explicación dentro de sus límites de validez. Si pasamos a utilizar otro modelo el resultado es el mismo,

nos queda por afuera de los límites de validez. Estamos refiriéndonos a los modelos de la cuántica y al del mundo macroscópico, aún visto este con microscopio. La imposibilidad de explicar claramente con los modelos mencionados fenómenos de absorción, refracción y transmisión de la luz producidos en los antiguos vidrios "oro rubí", el efecto de las hojas de la flor de loto, por el que las gotas de agua resbalan sobre ellas sin mojarlas o, la iridiscencia del nácar o las plumas de algunas mariposas, son algunos de los motivos que han dado lugar a aceptar al modelo nanotecnológico de manera casi cotidiana. Al hacer referencia al tamaño de las partículas involucradas en estos y otros fenómenos se encuentra un patrón que tiene que ver con el cambio de propiedades de acuerdo al tamaño considerado.

Los modelos tienen sus límites de validez y entre los elementos que definen esos límites se puede afirmar que "el tamaño importa".

Cuántica

Al decir modelos de la cuántica, nos referimos a la Mecánica Cuántica. Esta describe fenómenos que ocurren en la materia del orden de la constante de Planck ($6,62 \cdot 10^{-34}$ Joule*segundo). Por ejemplo los niveles de energía permitidos para los electrones en la estructura del átomo. Estos conocimientos tienen aplicaciones prácticas por ejemplo en el desarrollo de los transistores. El láser, los nuevos materiales, semiconductores, los avances en cosmología, la criptografía y la nanotecnología son algunos de los deudores de esta teoría.

Límites de validez:

Toda teoría científica hace un recorte de la naturaleza para estudiarla, describirla, generar nuevo conocimiento sobre ella y finalmente aplicarlo. Ese recorte ya representa un límite pero cuando nos referimos a los límites de validez, estamos pensando en que todo lo que se dice sobre la naturaleza desde una disciplina estará restringido a algunos elementos que limitan su aplicación a cierto tipo de fenómenos. Vaya como ejemplo más característico para esto la diferencia entre la física clásica o Newtoniana y la física moderna o relativista. La física clásica alcanza su límite de validez cuando los fenómenos que describe se producen o involucran a velocidades bajas, no comparables con la velocidad de la luz ($c=300.000$ km/s $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s). Cuando los fenómenos a describir incluyen velocidades comparables a la de la luz, la física clásica pierde su poder predictivo. Por ejemplo

la masa de un cuerpo deja de ser constante, el tamaño de los cuerpos también cambia con la velocidad, y el tiempo deja de ser único para todos los sucesos. Como dice la frase popular “todo es relativo”, que tiene su origen en la teoría de la relatividad, la descripción del mismo fenómeno, que ocurre a velocidades similares a la de la luz, depende del observador. En la física clásica la descripción no depende del observador.

Macro, cuanto y nano

Hasta aquí hemos mencionado algunos términos conocidos pero seguramente imprecisos al momento de definirlos: macroscópico, cuántico y nanométrico.

En un primer acercamiento a la naturaleza, los modelos corresponden a cuerpos, sistemas, o grandes estructuras. La mecánica clásica o mecánica Newtoniana, permite describir el universo desde sus más grandes estrellas, hasta simplificarlos en el modelo de partícula. Para lograr esto necesitamos hacer un ejercicio mental importante por el qué todo cuerpo en estudio es reducido a un punto material sin dimensiones. La biología, desde la clasificación en reinos, pasando por la diferenciación de los seres vivos por sus parecidos, llegó hasta la célula y aún un poco más, se metió dentro de ella hasta encontrar el ADN. Otra vez necesitamos hacer un esfuerzo para poder asir el modelo de la doble hélice. La química, no ha quedado por afuera de este recorrido, desde las propiedades comunes y no comunes, pero visibles de los cuerpos y las sustancias que los forman para llegar a propiedades que permitan agrupar a los elementos en la Tabla Periódica de Mendeléyev para, más acá en el tiempo, llegar a un modelo de átomo que, desde el modelo del “pan dulce” de Thompson llegó al átomo de Bohr e incluso al de Rutherford, pero que rápidamente comenzó a ser inconsistente. Ayudaba a crear fácilmente una imagen de algo, el átomo, que llena todo pero no que no se puede ver.

En este desordenado recorrido histórico de la evolución de las ciencias naturales, marcamos que sus modelos e interpretaciones que se complementaban e interpelaban adecuadamente dentro de lo que denominaremos macroscópico para un continuado avance en la descripción de la naturaleza. Aquí *macroscópico* lo utilizamos aún para aquello que necesita de un microscopio para ser observado

(célula) o más aún, necesita de una esforzada exégesis¹ (partícula, átomo, célula, ADN) para ser imaginado. Para precisar un poco mejor a los modelos macroscópicos, y especialmente para tapizar adecuadamente el camino que queremos recorrer, podemos decir que todos proponen que la materia posee propiedades que son independientes de las cantidades involucradas (propiedades intensivas).

Los primeros 50 años del siglo XX fueron los que hicieron un aporte con prisa y sin pausa, que no acabó con la bomba atómica, sino que fue mucho más lejos dentro de las profundidades de la materia. El modelo de Rutherford parece poco menos que un ensayo infantil visto desde la mecánica cuántica que hoy conocemos pero, fue un aporte en esa evolución del modelo atómico que trasciende a la física y que es patrimonio necesario de la química y la biología para poder explicar fenómenos de todo tipo, cuando el tamaño de las partículas en relación a otros elementos involucrados es lo que importa. George Gamow (1904-1968), utilizando a su personaje de ficción Mr. Tompkins, nos ayuda a entender las claves del mundo cuántico, un mundo signado por las dimensiones atómicas y las probabilidades. Este físico ucraniano, que en sus investigaciones involucró desde el Big Bang hasta el ADN, explicando sus secuencias, lo podemos tomar como ejemplo de esa síntesis entre áreas del conocimiento que se conjugan alrededor del cuanto de Max Planck. El modelo cuántico, con su análisis de probabilidades, responde a las necesidades del mundo subatómico.

Ahora bien, la materia se comporta en acuerdo con la naturaleza y no en acuerdo con los modelos. A ese modelo de lo grande y a ese de lo extremadamente pequeño, le apareció un modelo que explica eficientemente lo que queda entre ambos. La frontera casi indefinida es ocupada por el modelo nano. Para ponerlo en un ejemplo sencillo, las hojas de la flor de loto tienen la particularidad de no mojarse, de repeler el agua. Más cercano a nosotros, al irupé le pasa lo mismo y, a muchos o otros seres vivos también. Desde el modelo macro no se puede proponer una explicación eficiente de por qué ocurre esto, y poder reproducirlo para aprovecharlo. Desde el modelo cuántico podemos decir que sobra teoría como para explicar esto por lo que resulta poco eficiente para aplicarlo. Pero si aplicamos el modelo nano la explicación resulta elegante y accesible, lo que permite aprovechar este conocimiento para otras situaciones similares y utilizarlo en desarrollos tecnológicos. Podemos agregar que el problema del modelo nano, desde otro punto de vista, resulta suficientemente complejo como para ser

¹ Exegesis: Explicación, interpretación. Diccionario RAE

abordado por la cuántica tradicional. Recientemente se pudieron desarrollar, por parte de los científicos, modelos que tienen en cuenta a la cuántica de objetos y materiales complejos.

¿Dónde está el límite entre lo macro y lo cuanto? La respuesta se encuentra en las propiedades intensivas de la materia. El color, el punto de fusión, la densidad y otras propiedades de la materia permiten conocer y diferenciar distinto tipo de sustancias, ya que son propiedades que no cambian con la cantidad de materia involucrada. Esto se cumple hasta reducir a la sustancia hasta la molécula y el átomo pero no cuando se trabaja con partículas subatómicas.

Esas propiedades intensivas que desaparecían al trabajar a nivel subatómico reaparecen al trabajar con unos pocos átomos o moléculas. Para decirlo mejor, con materiales cuyas dimensiones son comparables a la de los átomos, reaparecen las propiedades intensivas pero son distintas que en cantidades mayores de la misma sustancia. Cuando un material tiene alguna dimensión nanométrica, por ejemplo su espesor, sus propiedades intensivas cambian. Entonces dejan de llamarse intensivas, para llamarse propiedades nanométricas en dimensiones que van desde 1 a 100 nanómetros.

El prefijo nano indica dimensiones del orden de 10^{-9} . El nanómetro es la mil millonésima parte del metro. Las células que podemos observar al microscopio son del orden del micrón (10^{-6} m). Un cabello humano mide alrededor de 80 micrones, que es equivalente a 80000 nm. Si dividimos el espesor de un cabello 80000 veces obtenemos un nanómetro.

Los átomos son del orden de los picómetros (10^{-12} m), aunque por comodidad las medidas se informan en Ångström (10^{-10} m). Es decir que en un nanómetro puede haber más de un átomo, pero una molécula puede medir, a su vez, varios nanómetros.

Es oportuno, entre tanto número en notación científica, aportar una definición más poética de nanómetro que se cita reiteradamente, aunque casi ya ha pasado ser patrimonio de la humanidad porque la cita obvia a su autor. Quien la ha emitido por vez primera ha sido Mihail Roco en el año 2001, en la National Science Foundation (NSF). La expresión en inglés dice: One nanometer (one billionth of a meter) is a magical point on the dimensional scale. (Roco cited in Ratner, M.; Ratner, D.: 2003, *Nanotechnology*, Prentice Hall, New Jersey. Tomado de <http://hyle.org/journal/issues/10-2/lopez.htm>). Traducido nos dice: Un nanómetro es un punto mágico en la escala dimensional. La expresión "magical point" nos orienta al mundo fantástico donde todo nos puede sorprender. Hoy los científicos se siguen sorprendiendo por la magia de lo nanométrico. Pero poco a

poco van descubriendo los trucos que les pone la naturaleza cuando descienden por el hoyo del conejo blanco de Alicia, en el país de las nano-maravillas (con perdón de Lewis Carroll²).

En ese punto mágico, las nanoestructuras se encuentran, en cuanto a tamaño, entre medio de las moléculas más grandes, y los objetos más pequeños creados por el hombre.

Lo nano, lo nánico, lo nanotecnológico, describe a la Naturaleza y lo que con ella ocurre cuando la sustancia tiene alguna o algunas de sus dimensiones entre 1 y 100 nanómetros. Las propiedades que detalla serán propiedades nanométricas y casi seguramente serán distintas a las propiedades intensivas del mismo material.

Max Planck y los cuantos.

Max Karl Ernest Ludwig Planck nació en Alemania en 1858. Es considerado el padre de la Teoría Cuántica, por la que recibe el premio Nobel de Física en 1918.

El final del siglo XIX y los comienzos del XX marcan para la física una etapa de ebullición de ideas, muchas de ellas de duración efímera. Justamente en 1900 Planck propone que la energía no podía ser continua sino discreta, es decir que existe una unidad mínima de energía, que llamó *cuanto*, y a partir de él, los valores de energía que se obtienen serán múltiplos del mismo. El *cuanto* parecía más bien una solución de compromiso que adoptó Planck para avanzar en la descripción de la energía que emite un cuerpo negro y que también sería un concepto que desaparecería con el avance del conocimiento. La comunidad científica no dio mayor importancia a este aporte de Planck y el mismo dudaba acerca de su validez. Sin embargo, cuando Albert Einstein (1879-1955) trabajó sobre el efecto fotoeléctrico, llega darse cuenta que la única forma de justificar este fenómeno era aplicando el concepto de energía cuantizada. Así es como se confirma su validez y trasciende dentro de la física la idea del *cuanto* para dar lugar a la mecánica Cuántica.

Muere en Alemania en 1947.

² Lewis Carroll (1832 - 1898) autor del cuento fantástico "Las aventuras de Alicia en el País de las Maravillas" publicado en 1865.

La relación Área/Volumen: nuevas propiedades

Las propiedades intensivas de la materia, color, punto de fusión, dureza y muchas más, no dependen de la cantidad de materia considerada ... eso era lo que sabíamos, hasta que hurgando en los confines de las potencias negativas de 10 y llegando al orden del menos 9 (10^{-9} m), eso que teníamos delante de nuestros ojos (?), ya no lo podíamos reconocer. Alguna, algunas o todas esas propiedades que permitían identificar a la materia y estar seguros de la sustancia simple o compuesta con la que estábamos trabajando habían cambiado. Lo que no había cambiado era la sustancia simple o compuesta, sí sus propiedades y por qué!

Tanto para partículas, películas o filamentos nanométricos, el comportamiento de sus propiedades cambia, y cómo cambian! Con esta exclamación nos referimos a qué esos cambios no sólo son con respecto a las propiedades intensivas de la materia en cantidades, o para decirlo mejor, dimensiones nanométricas, también se producen cambios en las propiedades nanométricas para una misma sustancia dependiendo de su geometría nanométrica.

Para las ciencias naturales, la relación entre el área de la superficie de un cuerpo y su volumen puede quedar representada por un número. Más allá del número, observando ciertos conocimientos cotidianos podemos recuperar la noción de la importancia de la misma. Los bebés tienen una relación área/volumen más grande que un adulto. Eso justifica la recomendación de abrigo aún en verano, la pérdida de calor por la piel es muy importante y el volumen que genera ese calor no es suficiente. Cuando tenemos que cocinar una papa, una zanahoria o una batata por hervor y disponemos de poco tiempo, sabemos, o por lo menos las abuelas saben, que hay que cortarlas en trozos más pequeños que los habituales. El calor se transmite por una superficie mayor con respecto al volumen del trozo. También las amas de casa saben que no se debe exponer la lana de acero al calor excesivo porque puede entrar en combustión. El acero se oxida, pero cuando la relación área/volumen es muy grande, esa oxidación puede ser acelerada y violenta. Estas observaciones de fenómenos que ocurren en cuerpos de dimensiones macroscópicas, nos ayudan a entender que las dimensiones son importantes para fenómenos relacionados, con el calor, las reacciones químicas, y también podemos ejemplificar con fenómenos eléctricos, disoluciones y difusión por membranas. Es bueno hacer un alto aquí para decir que con esos cambios de dimensiones, solo cambian algunas de las propiedades físicas y químicas de los cuerpos involucrados y por ello en general los seguimos reconociendo a simple vista.

Lo expresado en el párrafo precedente nos permite aceptar y reconocer más

fácilmente la influencia de la relación área/volumen aplicada a dimensiones nanométricas, entendiendo que la materia se comporte de modo totalmente distinto al conocido.

Cuando llegamos a las dimensiones del átomo o las moléculas podemos entender que hay un área límite entre un átomo y su vecino, y lo mismo para las moléculas, aunque no es aceptable para los modelos establecidos hablar de una superficie del átomo o la molécula. Los límites entre átomos o moléculas quedan establecidos por la región de influencia de las fuerzas eléctricas y por la nube de probabilidades de encontrar un electrón perteneciente al átomo, los orbitales.

Las fuerzas de atracción y repulsión eléctricas entre átomos y/o moléculas siempre son importantes pero, las dimensiones nanométricas hacen que la relación área/volumen nos permita explicar que la materia se comporte de forma extraña. El oro, nuestro dorado oro en anillos y alhajas, no lo podríamos reconocer cuando sus dimensiones son nanométricas. Del violeta al rojo, las partículas de oro de algunos pocos nanómetros absorben distintas longitudes de onda y reflejan otras, aunque el color cambie sigue siendo oro. Esas longitudes de onda son distintas a las absorbidas y reflejadas cuando las dimensiones superan los 100nm, y veremos para nuestra tranquilidad, a nuestro querido y dorado oro.

Esto es solo un ejemplo de una de las propiedades intensivas que cambia con el tamaño en una sustancia. Muchas otras propiedades del oro cambian con el tamaño. Así como en el oro, con todas las sustancias "pasan cosas raras" en las dimensiones nanométricas.

Orbitales

Se hace referencia a los orbitales cuando es necesario caracterizar a los átomos. Si bien la palabra se puede asociar rápidamente con la idea de órbita de los planetas, el concepto de orbital es mucho más complejo que la idea de la trayectoria del electrón.

El orbital atómico es una función de onda. Esta función permite determinar el estado de los electrones pertenecientes a un átomo. Las soluciones de la función de onda son funciones matemáticas, cuyas variables solo pueden tomar números enteros. Estos números, denominados cuánticos, son: n (número cuántico principal); l (número cuántico del momento angular orbital); m_l (número cuántico magnético) y s (número cuántico de espín).

Geoméricamente, la función de onda da como resultado una nube de probabilidades, región donde es posible que se encuentre el electrón.

La nanotecnología en nuestra vida

Cuando buscamos información sobre nanotecnología, en general, encontramos todos los verbos conjugados en potencial: La nanotecnología solucionaría, produciría, permitiría, ...ía, .. ía,, ía...jo. Esto nos lleva a pensar que estamos frente a una ciencia y una tecnología del futuro, que aún no tiene pasado y muchos menos presente. Es la ciencia y la tecnología, que por las proyecciones que muestra, nos hace soñar y desear haber nacido unos 50 años después de este momento. Sin embargo las aplicaciones de la nanotecnología están más cerca de nosotros de lo que creemos o por lo menos en algunas regiones del planeta ya forman parte de la vida cotidiana. En nuestro país podemos comprar distintas marcas de heladeras con sistema antibacterial con nanopartículas de plata, para la mejor conservación de los alimentos, o integrado a los dispenser de aguas fría. El wok, que está de moda, o cualquier otro sartén, jarro o cacerola con tratamiento antiadherente seguramente presenta, en ese recubrimiento, una capa de nanopartículas de plata. Vayan estos dos ejemplos sencillos de elementos de uso doméstico que incorporan nanotecnología ya a nuestra vida y con interesantes resultados. Dejaremos para capítulos posteriores la enumeración y descripción de la nanotecnología en nuestra vida, pero aquí podemos agregar que, como toda nueva tecnología, la conjugación de sus posibilidades se da en potencial pero debemos saber desde estas primeras páginas que también merece ser conjugada en presente y un presente situado entre nosotros.

Una pequeña digresión. Visitando páginas web de venta en línea o grandes casas de artículos del hogar podemos encontrar aplicaciones nanotecnológicas, no es necesario visitar páginas de ciencia o tecnología avanzada para encontrarlas.

Al escuchar a Frank Sinatra (1915-1998) nos emociona con su *I've got you under my skin* (Te llevo bajo mi piel) de Cole Porter (1891-1964). Desde fuera de la ciencia, los artistas y poetas, nos dan letra para decir que "nanotecnología, te llevo bajo mi piel" (Nanotechnology, I've got you under my skin) mediante las nanopartículas incorporadas en cremas antiedad, antiarrugas y filtros solares. Revisando un poco las páginas dedicadas a la cosmetología veremos que mayoritariamente, estas cremas nanotecnológicas no gozan de buena fama, pero son una realidad metida en los anaqueles de farmacias y casas especializadas en cosmética. Queda en cada uno adentrarse en estos temas si son de su propio interés para tener un criterio que oriente su consumo.

En este apartado es importante destacar que la nanotecnología en nuestra vida no solo nos permite lavar o cocinar mejor entre otras cosas, también nos

permite elegir un nuevo camino en nuestros intereses, especialmente para quienes están en el momento de orientar sus estudios futuros. Aquellos preocupados por la conservación del medio ambiente deberán conocer de nanotecnología para evaluar las ventajas y riesgos que acarrea esta nueva tecnología, sabiendo que algunos de sus productos son tan viejos como la erosión. También es bueno saber que entre las potencialidades que tiene un país, se mide el desarrollo de las nuevas tecnologías. Tener científicos y tecnólogos dedicados a estos temas devuelve un índice que da idea acerca de las posibilidades de mejora de esa sociedad. No se detiene en esto la evaluación de la nanotecnología en nuestra vida. Nuestra vida puede estar dedicada a la nanociencia y la nanotecnología. Saber que existen aplicaciones futuras y que nuestro país dedica recursos humanos y económicos en estos campos puede ser determinante para la elección de una carrera universitaria. Así también la nanotecnología se mete en nuestra vida cotidiana.

Por último, el sistema educativo debe dar a conocer de algún modo en qué anda hoy la ciencia y la tecnología, en particular la nanociencia y la nanotecnología, para que se nos hagan cotidianas, para poder ser crítico en su adopción, para poder elegir un modelo científico para el país y para tener un elemento más en la decisión que involucra el futuro profesional de los niños y jóvenes.

La enseñanza y el aprendizaje de la Física y la Química, o las Ciencias Naturales en general, se hacen absolutamente necesarios para la comprensión de la importancia de estas nuevas ramas de la ciencia y la tecnología en nuestras vidas, sus aplicaciones, sus riesgos y sus posibilidades.

La nanotecnología y las otras ciencias

Antes de detenernos en los vínculos de la nanotecnología con las otras ciencias vamos a ahondar un poco más en por qué nanotecnología y no tanto nanociencia. Retomando un poco el problema de los modelos y sus límites, Richard Feynman (1918 - 1988), premio Nobel de Física en 1965 por sus trabajos relacionados con las partículas subatómicas, en su conferencia "There's plenty of room at de bottom" (Hay mucho espacio en el fondo) dada el 29 de diciembre de 1969 en la Reunión anual de la American Physical Society y el California Institute of Technology (Caltech), abrió un espacio infinito entre lo macro y lo cuántico. Ese espacio infinito entre 1 y 100 nanómetros se llenó de novedades cambiantes. Cambiantes porque al cambiar las dimensiones, las geometrías, la cantidad o tipo de átomos o moléculas, las propiedades que se descubrían eran totalmente distintas.

Las leyes físicas que explicaban los fenómenos observados son conocidas. Es decir que con el conocimiento establecido se puede explicar perfectamente lo que ocurre. Pero “pasan cosas raras” porque el tamaño importa, la distribución geométrica importa, y especialmente importa la relación área/volumen. ¿Y entonces? Entonces lo que surge a nivel nanométrico y dentro de ese nivel, en la franja del 1 al 100, es que el conocimiento nuevo no va por las nuevas leyes sino que va por el lado de la explicación de fenómenos ya conocidos, por ejemplo de la biología molecular, y por el lado de las nuevas aplicaciones tecnológicas que podrían generarse en la industria a partir de las nuevas propiedades que muestran los mismos materiales pero con alguna dimensión nanométrica.

El cuento *Fantastic Voyage*, de Otto Klement y Jerome Bixby, inspirador de la película *Viaje Fantástico* (1966), inspira a su vez la novela de ciencia ficción *Viaje alucinante* escrita en 1966 por Isaac Asimov (1920-1992). ¿Qué tiene de fantástico este viaje? Que recoge las alucinantes novedades de las ciencias en ebullición y las mezcla con los deseos siempre omnipotentes del hombre, para reducir y meter en el torrente sanguíneo de una persona un submarino nuclear lleno de científicos y médicos con el objetivo de salvarle su vida por ser el descubridor y único conocedor de este efecto reductor. Como todo tiene un límite, aquí el límite es el efecto reductor que solo se mantiene durante una hora. La ciencia ficción avanza y la máquina reductora, que podríamos llamar nanometrante, se reduce a una pastilla, la pastilla de “chiquitolina”, que Roberto Gómez Bolaños hizo tomar años después de aquella película al Chapulín Colorado. Y se notó el avance de la ciencia ficción, la “chiquitolina” no tiene los límites de tiempo en su efecto pero sí la torpeza del antihéroe latinoamericano. Hoy, no mucho tiempo después de estas fantasías, la nanotecnología se une a la medicina, la bioquímica y la biología molecular para acceder al cuerpo humano con medicinas nanométricas capaces de dirigirse a zonas específicas del cuerpo, o liberar cantidades necesarias de drogas en el lugar prefijado. Parte de esto es presente y mucho sigue siendo futuro.

La ciencia ficción ha nutrido de imágenes cinematográficas ciertos miedos nacidos con la creación de los primeros autómatas. La posibilidad que los robots se independicen de su creador, el hombre, hasta el punto de poder autorreplicarse permanece en el inconsciente colectivo. Uno de los ejemplos más recientes pertenece a la película *Yo, robot* (2004) basada en el guión de Jeff Vintar, titulado *Hardwired*, que además incorpora elementos de cuentos de Isaac Asimov. Los avances en nanobots, robots de dimensión nanométrica, incorporan sin quererlo y sin proponérselo los mismos temores en quienes comienzan a saber de la posible existencia de máquinas autónomas de unas pocas moléculas o átomos que

pueden cumplir funciones tan diversas como atacar tumores o limpiar arterias así como constituirse como motores, sensores o pinzas moleculares. En estos temas todo es experimentación, la conjugación es en potencial. Aplicaciones masivas y concretas por el momento no tenemos o no conocemos. Aunque la Naturaleza no es nanotecnológica, porque para serlo requiere del hombre, una dialéctica permanente del conocimiento con el aprendizaje que se realiza en las investigaciones con nanobots sirve para, por ejemplo, entender mejor los procesos de formación de la molécula del ADN y otras proteínas. El conocer más sobre ellas orienta en cómo trabajar con grupos de moléculas, nanobots, que consigan fines definidos.

La matemática, corporizada en John von Neumann (1903-1957), húngaro de nacimiento y estadounidense por adopción, propone las máquinas autorreplicantes y los autómatas celulares, en las décadas del 40 y del 50 del siglo pasado. El concepto de las llamadas “máquinas de von Neumann”, máquinas de lápiz y papel, dieron lugar por ejemplo a los virus informáticos pero también es el modelo matemático básico que permite pensar en los nanobots. Los autómatas celulares también son utilizados como modelo para llegar a los nanobots autorreplicantes.

Al comienzo de este apartado, la enorme figura de Richard Feynman, probablemente nos haya hecho pensar en una nanociencia y una nanotecnología dominada por la Física y casi exclusivamente vinculada a ella. Sin forzar las relaciones, vemos que la tecnología nanométrica se relaciona con la matemática, con la química, la biología, la bioquímica, la biología molecular. La medicina es una de las técnicas que puede ser beneficiaria de estos adelantos pero también la agricultura, el tratamiento de aguas y la informática son campos que ya están atravesados por las novedades nanotecnológicas y seguirán siendo receptores y usuarios de más novedades que traerá este campo.

En base a los ejemplos artísticos que ilustran los temores y fantasías alrededor de lo muy pequeño que se genera en el hombre, la filosofía y especialmente la epistemología de la ciencia y la tecnología están llamadas a poner luz, o por lo menos algunas reflexiones, sobre todos los aspectos relacionados a la interpelación que provoca en la sociedad la introducción de las novedades de una rama de la ciencia y del conjunto de las ciencias que requieren quizás demasiados conocimientos para poder entender alcances y consecuencias de su uso.

Aunque quizás el título bajo el que están estas últimas palabras del apartado, no es el que pueda cobijarlas mejor, es necesario decir que quienes tomen las decisiones políticas que orienten el uso de los recursos en nanotecnología deben necesariamente conocer los alcances y consecuencias de sus aplicaciones en todas las áreas del desarrollo del país.

La necesidad de una nanociencia

Los términos nanociencia y nanotecnología son usados como sinónimo y la costumbre ha llevado a que el segundo vaya tapando al primero. Nanociencia nos pone en el camino de pensar en una ciencia que trata de describir modelizando lo pequeño, tan pequeño como el orden de lo nánico y dentro de eso, lo que ocurre con lo que tiene dimensiones entre 1 y 100 nanómetros, como ya expresamos anteriormente. Nanotecnología nos pone en camino de pensar en las aplicaciones del conocimiento establecido por la nanociencia.

Nanociencia/Nanotecnología observan y exploran el nano-mundo, lo caracterizan mediante sus propiedades, miden esas propiedades. Con esta información van modelando ese "punto mágico". Aprovechando esos conocimientos construyen nano-objetos, que seguramente permitirán conocer mejor el comportamiento de lo nanométrico, ajustando el modelo que lo describe.

Podemos resumir en tres verbos lo que hacen la nanociencia y la nanotecnología: ver, tocar y manipular el nano-mundo.

Sin abundar ni pretender hacer definiciones precisas, esas son las ideas vinculadas con esas palabras compuestas y poco melódicas.

La primera vez que se utilizó la palabra nanotecnología fue en 1974, y la incorporó el ingeniero japonés Norio Taniguchi (1912-1999), profesor de la Universidad de Ciencia de Tokio, al presentar un trabajo publicado en el "Proceeding of the International Conference of Production and Engineering" (Actas de la Conferencia Internacional de Producción e Ingeniería). Si necesitábamos un culpable para saber por qué nanociencia quedó escondida detrás de nanotecnología, ya lo tenemos. Además no hemos encontrado registro de la primera vez que se utilizó el tándem nano-ciencia.

La nanociencia/nanotecnología se va independizando de la ... en realidad no podemos decir de cuál de las ciencias se ha apartado. Aunque los físicos quieran reivindicarla para ellos, no sólo por tratar lo pequeño es que se les ha escurrido, sino que también porque aborda intereses, objetos, propiedades y modelos, de muchas otras ciencias como ya quedó explicitado en el apartado anterior. Se puede agregar que en los temas de punta de la ciencia y/o la tecnología lo que ocurre es una necesaria convergencia desde distintas áreas del conocimiento científico para avanzar en conjunto mediante los aportes de cada una así como tomar, por parte de las mismas, aquellos conocimientos que les permitan mejorar en áreas que les son propias.

Ese objeto de estudio, tan compacto aparentemente, que es la descripción

del comportamiento y las propiedades de la materia entre 1 y 100 nanómetros, es un campo tan amplio, novedoso y cambiante que requiere una especialización e interdisciplinariedad, que la hace única entre las disciplinas científicas. Entonces, necesariamente la nanociencia/nanotecnología se va constituyendo en una nueva ciencia, con sus propios intereses, objeto de estudio definido, planes, inversiones, recursos humanos, reuniones, congresos y publicaciones.

Se puede decir que la nanociencia/nanotecnología se abrió camino por sí sola, vio luz "allá abajo, en el mucho espacio del fondo", forzando la expresión de Richard Feynman, y bajó para ver que encontraba. En el concierto de las ciencias nació una nueva que, necesariamente debe tocar en orquesta y muestra un poco, a las pretendidas solistas, que el mejor sonido se consigue entre todos.

La comunidad científica internacional reconoce a la nanociencia/nanotecnología. Las aplicaciones van tomando lugar cada vez más cerca de lo cotidiano. Esto despierta la necesidad de tener una nanociencia/nanotecnología entre nosotros. Los avances y retrocesos que aporten las tecnologías de lo nanométrico no sólo deben ser asimiladas. Es necesaria la capacidad de interpelar esa novedad y si es posible aportar al conocimiento general y orientar las inversiones y gastos en este nuevo campo científico y tecnológico hacia las necesidades propias y no sólo las ajenas.

Nuestro país, cuna y formadora de tres premios Nobel en Ciencia ha entendido el desafío. Sustentada no sólo en sus científicos premiados sino que además, contando con una historia y un presente científico que no desentona con el nivel internacional y un rico plantel de físicos, físicos nucleares, químicos, biólogos, biólogos moleculares, matemáticos y algunos etcéteras, nuestro país cuenta con numerosos laboratorios que dedican en parte o por completo sus esfuerzos en el área del conocimiento a la que se abre este libro.

Se confía en que los científicos con que se cuenta son los adecuados pero su número es exiguo, también existe preocupación para atraer a los jóvenes a las ciencias. Sólo como una primera muestra de la importancia que se ha dado a la nanotecnología, la necesidad de una nanociencia con desarrollo autónomo y la formación de recursos humanos, nombraremos el programa *Nanotecnólogos por un día* orientado a alumnos de nivel medio, que luego de presentar una investigación monográfica, son seleccionados para pasar un día en un laboratorio de nanotecnología trabajando con un investigador. Este programa está dirigido por la Fundación Argentina Nanotecnológica (F.A.N.) y con auspicio del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.

Figura 1.1 Detrás está la gente. Alumnos de nivel medio trabajando en un laboratorio de nanotecnología gracias al programa Nanotecnólogos por un Día.



Fuente: Fundación Argentina de Nanotecnología
 Link <http://www.fan.org.ar/nanotecnologo-por-un-dia/> Última visita al sitio 24/3/2014

Capítulo a capítulo: un breve recorrido, casi nánico

Pasada la introducción del Capítulo 1 nos queda hacer un poco de alharaca para interesarlos en continuar la lectura. Claro que, como quizás tengan algún interés particular que confían encontrar en esta producción, la lectura de este aparatado puede ayudarlos a acceder a lo que buscan, más rápido.

Todo protagonista de nuestro tiempo que se precie, tiene alguna biografía no autorizada, las nanopartículas también. La encontrarán en el Capítulo 2. Las nanopartículas tienen una larga historia, recorran el Imperio Romano y la Edad Media de la mano de las nanopartículas en un tour imperdible, que continuará por el continente americano en la época precolombina. Una galería de grandes personajes y científicos que de un modo u otro contribuyeron al presente na-

notecnológico es otro momento destacado de este recorrido. Para terminar esta biografía, un paseo por la sala de las imágenes que completan una idea acabada de todo aquello que hizo grande a lo pequeño: descubrimientos, acontecimientos, ideas y sueños. *Biografía no autorizada de las nanopartículas* es el título.

Ahora a ponerse serios. Luego de la informalidad propia de un tour, nos vestimos de gala para entrar a la formalidad del Capítulo 3, *El origen de las propiedades extraordinarias*. Átomos, moléculas y sólidos serán desmenuzados en sus características, propiedades y diferencias. ¿Dónde se originan las extraordinarias propiedades de los nanomateriales? En este capítulo encontrarán la respuesta. Si bien puede parecer que se adentran en una zona de cuestiones profundamente teóricas, su desarrollo es suficientemente accesible para el lego y le permite entender los fundamentos de la nanotecnología. También se aborda la problemática de la obtención concreta de los nano-elementos que se encuentran en ese “punto mágico” cuyas dimensiones permiten asombrarse con propiedades casi inconcebibles. Vale la pena ir a los fundamentos del tema de nuestro interés que nos quedará adherido como los geckos a las paredes y cielorrasos. Nanotubos, grafeno y quantum dots, serán nombres y expresiones que se nos harán familiares y casi visibles pese a sus dimensiones.

El Capítulo 4 nos pone atentos a lo que pasa con la nanotecnología a nuestro alrededor. *Nanomateriales: aplicaciones actuales* nos pone en presente una ciencia que casi parece ficción, que la pensamos como del futuro y que ya está entre nosotros. Desde las cotidianas cremas de belleza, pasando por productos medicinales que son transportados por nanomateriales, llegaremos a la electrónica y los biosensores. Esto es sólo un breve punteo de todas las aplicaciones que se describen, acompañadas en muchos casos de la forma de obtención de la nanopartícula involucrada en ella. No deje sorprenderse con todo aquello que de tan pequeño no vemos y que, está tan cerca nuestro hoy mismo.

Después del 4 viene el capítulo 5, una verdad de Perogrullo, pero acorde con la progresión de los números, vinimos de la historia, pasamos por el presente y ahora, *Aplicaciones futuras: tecnologías emergentes y usos responsables de la nanotecnología* son letras con proyección casi de ciencia ficción. Del Viaje Fantástico de la pantalla grande a la medicina real potenciada por un acompañante imperceptible que se meterá en los trasplantes y permitirá generar o regenerar tejidos y órganos artificiales. La industria también pasará a formar parte de los beneficiarios de la nanotecnología. La producción de energía necesita, busca y encuentra soluciones tanto en la generación o el ahorro del consumo cuando aparecen los nanomateriales. La industria textil y con ella la indumentaria se revolucionarán en

poco tiempo, conocerán hoy como será la moda del mañana. Así como la nanotecnología servirá para remediar problemas ambientales, para mejorar la producción y calidad de los alimentos y del agua para consumo humano, es necesario reflexionar acerca del uso responsable de la misma, los invitamos a hacerlo junto a la lectura de este capítulo, donde encontrarán mucho más de lo brevemente enunciado aquí.

Un capítulo imprescindible, el 6: *Nanotecnología en la Argentina*. Esto que tiene pasado, presente y futuro, tiene un pie en nuestro país. Ese pie ya casi es “pata ancha” porque nos enteraremos en la lectura cuanto de bueno y cuanto de mucho se hace aquí en nanotecnología. Investigadores, universidades, equipos interdisciplinarios y empresas estatales y privadas tienen mucho para decir a lo largo y ancho del país en estos temas. Temas que son los mismos que se están trabajando en todo el mundo científico y tecnológico. Nuestro país no se queda afuera de estos avances, no nos quedemos afuera y disfrutemos de saber que aquí también podemos hacerlo. Si necesitan conocer acerca de legislación y regulaciones, están en el lugar apropiado, el capítulo los pone al tanto de estos temas que son tan importantes como la investigación aplicada.

El 7 es un número cabalístico: siete los días de la semana, las notas musicales y los colores del arco iris; siete las artes y las maravillas del mundo. En este libro el Capítulo 7 está reservado a la enseñanza y aprendizaje, es nuestro capítulo didáctico. Aquí encontraremos el porque debemos enseñar nanotecnología en la escuela, algunas propuestas de como hacerlo y alguna experiencia de laboratorio que permita ver, tocar y manipular la materia a nivel nanométrico.

Aquí termina esta esbelta presentación del libro, la invitación a continuar con la lectura viene con yapa, en el último apartado de este capítulo queremos divertirnos juntos. Están invitados.

Un poco de humor nanotecnológico

La grandeza de lo pequeño nos puede decir muchas cosas, y a veces nos pasa desapercibido. A Maxwell Smart, el Superagente 86, poco le importó qué el laboratorio de Control miniaturizó circuitos y lentes para hacer una cámara fotográfica espía del tamaño de una mosca, la mató, la destruyó, con su diario apenas la vio sobre el escritorio. Qué no nos pase algo parecido y distraídamente, mientras buscamos el laboratorio de nanotecnología, quedemos parados sobre él.

Un video interesante, creativo y divertido puede ser visto en <http://www.youtube.com/watch?v=pv3DsOESwRM#t=11>. Parafraseando a un presidente nuestro decimos que, con la nanotecnología, se come, se educa, se cura y también se canta.

Para terminar, podemos decir que si lo que nos preocupa es el tamaño, estamos en el camino correcto, el tamaño sí importa. Veremos que, cosas tan pequeñas producen grandiosas satisfacciones. Ese efecto sólo se consigue porque alguna de sus dimensiones son nanométricas. A disfrutar.

Figura 1.2 Detrás está la gente. Científicos y empresarios premiados por la difusión de la nanotecnología durante el encuentro regional Nanomercosur 2013.



Fuente: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Link <http://www.mincyt.gov.ar/noticias/continua-nanomercosur-2013-nanotecnologia-para-la-competitividad-industrial-9519>. 13/11/2013 - Nanomercosur 2013

CAPÍTULO II

Biografía no autorizada de las nanopartículas

Ana Cecilia Munuce

Un pasado muy lejano

En la actualidad y desde hace algunos años se utilizan en el ámbito científico palabras como nanotecnología, nanomateriales y nanociencia para definir el trabajo científico a nanoescala, sin embargo, los materiales de dimensiones nanométricas ya existían y utilizaban en la antigüedad. Podríamos decir que algunos artesanos, científicos y tecnólogos eran unos adelantados para su época y no lo sabían.

Según cuentan algunos documentos, ya en el siglo IV antes de Cristo los romanos fabricaban vidrios con nanopartículas metálicas, una prueba de ello es un particular y excepcional recipiente conocido como la “Copa de Licurgo”, que se encuentra expuesto en el Museo Británico en Londres, Inglaterra. El curioso nombre de la copa tiene su origen en la literatura griega siendo Licurgo un rey, cuya leyenda es relatada en el sexto libro de la Ilíada de Homero. La decoración de la misma representa particularmente la escena de la muerte de Licurgo en Tracia, en manos de Dionisio.

Es considerada, por varios estudiosos, como uno de los objetos de vidrio más sofisticados realizados antes de la era moderna, tanto por su método de fabricación, como por los efectos ópticos logrados.

A causa del extraño comportamiento de la copa, ya que según como sea iluminada cambia de color del verde al rojo, fue sometida desde épocas lejanas, a

numerosas investigaciones en la búsqueda por encontrar una explicación técnica. En los últimos años, y gracias a los avances tecnológicos, se pudo determinar que los cambios de color se deben a la presencia de nanopartículas de oro (Au) y plata (Ag) de unos 50-70 nanómetros de diámetro. El oro, en tamaño nanométrico, es el principal responsable de la transmisión de color rojizo y la plata del reflejo verdoso.

Se cree que estos objetos no eran de fácil producción y que, por su color y decoración única, deben haber sido muy valorados y destinados a un propósito especial. Parece ser que la técnica de obtención de oro rubí era un reto para el fabricante de vidrio romano, y por ello la producción de vidrio de color rojo con oro no parece haber sobrevivido al siglo IV.

Al continuar con este recorrido histórico, volvemos a encontrar otros antecedentes interesantes de la producción ignota de nanomateriales que se remonta a épocas medievales, tal es el caso de las famosas espadas de Damasco y los asombrosos vitrales de las catedrales góticas:

Espadas de Damasco¹: Llamadas así por su procedencia y famosas por sus particulares propiedades y belleza, fueron utilizadas por los musulmanes durante la guerra de las Cruzadas. Su fabricación fue un secreto tan celosamente cuidado para evitar su reproducción por el enemigo europeo que terminó por desaparecer en el siglo XVIII.

La característica que las hacía esencialmente diferente a otras armas de la época, era una perfecta combinación de cualidades: su fortaleza para atravesar las armaduras de protección de los caballeros, su flexibilidad para doblarse y el filo de su hoja que permitía cortar un cabello en el aire. Estas características excepcionales significaron una gran ventaja para los musulmanes en los enfrentamientos bélicos.

Al igual que la copa de Licurgo, las espadas fueron investigadas a lo largo del tiempo con la intención de reproducir sus bondades y también sometidas a distintos estudios que permitieran develar el secreto del acero. Muchos científicos se interesaron en ellas, entre ellos Faraday, quien fue un curioso e innovador científico del siglo XVIII y del que hablaremos más adelante, que publicó un artículo en el cual proponía adicionar al acero pequeñas cantidades de sílica y alúmina para lograr las propiedades buscadas. Su receta no tuvo éxito aunque sirvió de base para estudios posteriores.

¹ El centro más importante de la cultura árabe islámica durante la edad media, hoy la segunda ciudad más grande de Siria

Una de las últimas investigaciones fue realizada, en la Universidad de Dresde- Alemania, sobre una espada de Damasco fabricada en el siglo XVII por un famoso herrero llamado Assad Ullah y que se encuentra en el Museo Histórico de Berna en Suiza. Los resultados de las investigaciones determinaron en el acero la presencia de nanotubos de carbono-los que se describirán en el cap. 3- que son la consecuencia, ignorada por cierto, de los métodos de elaboración del acero y cuya presencia explicarían las propiedades excepcionales de estas espadas.

Obviamente, los herreros medievales no sabían que utilizaban Nanotecnología. Hoy, 400 años después de la desaparición de las espadas de Damasco, y gracias al desarrollo de la nanociencia, se puede develar su secreto y llegar a reproducir un acero bastante similar a ese tan deseado.

Los vitrales de las catedrales góticas: También en la Edad Media encontramos este ejemplo del uso de la nanotecnología. Las catedrales eran admiradas, entre otras cosas, por la coloración y diferencias de tonos logrados en la decoración de sus vidrios. Como en los casos anteriores, la producción de estos colores se lograban empíricamente y el tono adecuado de los mismos dependía de la experiencia del vidriero, en su conocimiento de las temperaturas ideales de calentamiento y enfriamiento del vidrio y la incorporación precisa de minerales que contenían partículas de metales como oro, plata, cobre, etc.

Con las nuevas tecnologías y el desarrollo de la nanociencia se logró explicar que en el proceso de formación del vidrio, y por acción de los cambios de temperaturas, las partículas metálicas adquieren formas y tamaños nanométricos que les confieren sus intensas y coloridas tonalidades. En el caso del oro, sus nanopartículas están presentes en los vidrios de color rojo, mientras que la tonalidad amarilla, se debe a la presencia de nanopartículas de plata.

Los investigadores llegaron a la conclusión de que si los vitralistas medievales hubieran podido controlar el tamaño y la forma de las nanopartículas, seguramente hubieran producido otros colores a partir del oro y plata.

Nanopartículas a la Americana

Paralelamente a los antecedentes descritos, antes de que Colón arribara a nuestro continente, más precisamente en el siglo VIII, las culturas Mayas y Aztecas fabricaban un pigmento que debido a su gran brillo, belleza y estabilidad a la luz, se usó ampliamente tanto en murales como esculturas, cerámicas, y en todo objeto que fuera necesario exaltar con la pintura.

La composición del color constituyó un rompecabezas para los científicos durante décadas, en la necesidad de explicar sus notables propiedades. Lo llamaron azul maya, porque fue utilizado con mayor frecuencia por los artesanos y alfareros mayas, aunque también lo usaran los Olmecas². Su usanza se encuentra prácticamente de forma exclusiva en América Central.

El azul maya evidencia una propiedad extraordinaria de resistencia al deterioro natural y químico, y conserva su brillo a pesar de que las pinturas se hallaron, por siglos, sometidas a inclemencias ambientales, propiedad que no se puede atribuir a los pigmentos orgánicos típicos de aquellos siglos.

El color se puede admirar en los murales conocidos como de Cacaxtla, Chiapas y Bonampak. Estos últimos datan del año 790 y se encuentran en un lugar sumamente húmedo y caluroso donde pese a estas condiciones, las pinturas sin protección han sobrevivido miles de años.

El color, que era utilizado en las pinturas, llamó poderosamente la atención a los científicos modernos, entre ellos Rutherford³, que en los años 40 se interesó en las propiedades de este pigmento, y publicó un trabajo denominado "Maya Blue: An Unsolved Problem".

Con el tiempo se continuaron los estudios al color y, en investigaciones recientemente realizadas, se pudo determinar que es un pigmento artificial y que se genera por la combinación de una arcilla típica de la región que tiene cavidades nanoscópicas, llamada palygorskita, con el tinte de las hojas de añil o índigo⁴ (compuesto orgánico). La característica nanoscópica de la arcilla es considerada por algunos científicos la razón principal de sus sorprendentes propiedades de brillo y estabilidad.

Aun en la actualidad, la comunidad científica continúa debatiendo acerca del azul maya, porque si bien se acepta la asociación entre el índigo y la palygorskita para su elaboración, la inexistencia de documentación histórica en relación a la producción del pigmento genera discrepancia entre los investigadores.

Algunas investigaciones consideran que el azul maya puede haber llegado a Europa en pequeñas cantidades, a través de los españoles, ya que los pigmentos azules eran muy preciados, en aquellas épocas, por su rareza y altos costos. Se cree que algunas pinturas murales, sobre todo en España, podrían contener azul

maya. Por ahora es solo una hipótesis, ya que muchas veces se lo confunde con el azul de cobalto (que era empleado en Europa como pigmento para murales).

Antecedentes en la Medicina

El oro coloidal, a lo largo de la historia, fue considerado un aliado para la medicina. Los primeros indicios se remontan al 2500 a.c. en China, donde lo utilizaban como elixir para alargar la vida. En la Europa medieval, los alquimistas preparaban una bebida mezclada con oro que utilizaban para "hacer comfortable los dolores de miembros" una de las primeras referencias a la artritis. En el siglo XVI el oro se utilizaba para tratar la epilepsia y a principios del siglo XIX era el fármaco de elección para el tratamiento de la sífilis.

Por supuesto que quienes producían las medicinas ignoraban la importancia del tamaño de las partículas; recién a partir de las publicaciones de Faraday comenzaron a comprender con rigor científico que el oro metálico, cuando es dividido en "finas partículas", puede ser suspendido en agua. A partir del auge de la nanotecnología, la investigación médica moderna ha confirmado que la eficacia de estas medicinas se encuentra en las nanopartículas de oro.

Basándose en los conceptos vertidos por Faraday, en 1890, el bacteriólogo alemán Robert Koch descubrió que los compuestos elaborados con oro particulado en tamaño nanométrico, específicamente el cianuro de oro, inhibía el crecimiento del bacilo de la tuberculosis. Este hecho marco el comienzo de su uso en medicina moderna siendo introducido en la terapia de la tuberculosis en 1920. Por este y otros aportes a la medicina Koch ganó el premio Nobel en 1905.

Tiempos modernos

Todos los ejemplos, hasta aquí descriptos, pertenecen a un tiempo en que la generación de nuevos productos era puramente empírica e intuitiva. Quienes realizaban los experimentos generalmente eran artesanos, que en función de las demandas realizaban combinaciones de sustancias para generar otras nuevas, y al no tener una formación científica no podían dar explicación aquello que obtenían. Mezclaban sustancias, observaban y describían los productos de las reacciones, pero no calculaban proporciones, generando azarosamente los nuevos

2 Civilización anterior a la Civilización Maya

3 Físico y químico neocelandés conocido principalmente por probar la existencia del núcleo del átomo

4 planta del género *Indigofera* conocidas hoy con el nombre de jiquilite

productos. Hoy se habla de ellos como “alquimistas”⁵, aunque no lo fueran en el estricto sentido de la palabra.

Recién entre los siglos XVII y XVIII se comienza a dar importancia al aspecto cuantitativo de los experimentos y consecuentemente, la química se convierte en una ciencia exacta, basada en experimentos verificables y reproducibles. En estos siglos comienza el auge de las tareas de sistematización científica y el desarrollo de teorías que intentan dar una explicación probada a las propiedades de los productos. En muchos de los casos estos productos poseían algún interés, ya sea por su valor artístico, como en la Copa de Licurgo, su valor bélico, como en las espadas de Damasco, o simplemente por la belleza de los colores, como en los vitrales.

Es en estos años, donde el interés de los estudiosos por encontrar respuestas científicas a las propiedades de productos del pasado se acrecienta, especialmente en uno de ellos, Michel Faraday, quien comenzó a preguntarse el por qué de los maravillosos colores en las ventanas de las iglesias y la nobleza de los aceros e intento encontrar respuestas a estos interrogantes.

Es a partir de este momento de la historia que la nanociencia encuentra aliados en su intención de salir a la luz y darse a conocer. Los científicos, los descubrimientos frutos de sus investigaciones, como así también, la tecnología que se desarrolló para facilitar su trabajo, se rescatan en este punto. Se los designa como lo que fueron y son, los “destacados” o “grandes”: ya sean personajes, descubrimientos, aliados, que posibilitaron la visión de lo nano y construyeron el camino que llevó a la nanociencia a la posición en la que se encuentra en la actualidad.

Grandes Personajes

Michael Faraday: un Visionario

El químico Inglés Michael Faraday (1791-1867), quien cubría la falta de estudios universitarios con su gran intuición, se interesó por encontrar una explicación científica de las propiedades ópticas de los vitrales de las iglesias góticas. Profetizó que el fenómeno óptico podría ser a consecuencia de una forma particular de acción de la luz sobre las partículas materiales, como también del tamaño de las

5 En la edad media se definía como tales a aquellos que buscaban una sustancia mágica que produjera oro, sustancia llamada Al-IKsir y ahora conocida como elixir. En Europa, se le llamó al elixir “piedra filosofal”. El objetivo de los alquimistas no era tan sólo material sino espiritual, pues buscaban una perfección mística.

partículas que eran pequeñas, en comparación con la longitud de onda de la luz.

Ya en el siglo XVII dos investigadores, llamados Andreas Cassius y Johann Kunckel, lograron reproducir el rubí de oro, el fantástico color rojo de los vitrales. En 1685, Andreas Cassius publicó la receta para hacer el pigmento, que indicaba disolver polvo fino de oro en una mezcla de ácidos sulfúrico y clorhídrico (‘agua regia’) y el posterior agregado de agua y un trozo de estaño puro. Esta receta no era clara para muchos de los químicos de la época, que no podían reproducir correctamente el producto deseado. Si bien mencionaban los componentes del pigmento, no hacían referencia a como debía ser el tamaño de las partículas ya que desconocían su importancia.

Faraday fue el primero en aventurar que el color era debido al tamaño diminuto de las partículas de oro y se dedicó a demostrarlo. Para ello se inspiró en los trabajos alquimistas desarrollados por Paracelso⁶ (1493-1541), y por los cuales Faraday sentía gran atracción. Paracelso, mencionaba en uno de escritos haber creado un preparado llamado *Aurum potabile* (oro potable).

A partir de ello, Faraday procedió a realizar una variedad asombrosa de experimentos con partículas de oro, plata, platino, y muchos otros metales. Con el oro, logró la primera muestra pura de oro coloidal ya que el metal, cuando es dividido en finas partículas que van en tamaños de 10 a 500 nanómetros, puede ser suspendido en agua. En su diario con fecha del 2 de abril de 1856, Faraday llamó a las partículas que descubrió “estado de oro dividido”. Estas suspensiones que fueron preparadas por Faraday son conservadas en la Royal Institution.

En 1857, Michael Faraday publicó un artículo en la revista “Philosophical Transactions of the Royal Society” en el que trató de explicar como las nanopartículas metálicas influyen sobre el color de las ventanas de las iglesias (aunque no lo escribiera en esos términos, ya que “nanotecnología” como tal, no existía en esos tiempos).

A estos estudios proféticos realizados por Faraday, le continuaron los trabajos realizado por Richard Adolf Zsigmondy quien en 1898 preparó el primer oro coloidal en solución diluida y Gustav Mie quien, a principios del siglo XX, contribuyó a explicar científicamente como el color de los vidrios depende del tamaño y del tipo de metal empleado con su teoría de óptica de nanopartículas.

6 Paracelso es reconocido como el primer médico, ya que gracias a sus amplios conocimientos de química produjo bebidas medicinales, muchas de ellas, compuestas por minerales

Richard Feynman: El gran provocador

El desarrollo tecnológico creció de manera vertiginosa en las primeras décadas del siglo XX, dando lugar a grandes descubrimientos, entre ellos, la estructura atómica. Una nueva revolución industrial se generó inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial, con la aparición de robots controlados, computadoras con avanzados software, etc. También se genera una revolución tecnológica post guerra en el área espacial debido a la necesidad de desarrollar productos resistentes a extremas variaciones térmicas, de gran resistencia y livianos. La búsqueda de nuevos materiales y especialmente la electrónica, con el boom informático, sirvieron de plataforma a la miniaturización y de la mano de ella, el desarrollo de la nanotecnología.

En este marco histórico, el físico teórico Richard Feynman que nació en Nueva York en 1918, y quien era descendiente de judíos rusos y polacos, estudió física en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Con posterioridad se doctoró en la Universidad de Princeton, donde colaboró en el desarrollo de la física atómica entre 1941 y 1942, tarea que continuó durante la segunda guerra mundial. Modificó el modo en que la ciencia entendía la naturaleza de las ondas y las partículas elementales y por ello en 1965 le otorgaron el Premio Nobel de Física conjuntamente con el estadounidense Julian S. Schwinger y el japonés Tomonaga Shinichiro. Su labor se destacó, por su originalidad y alcance, a la de los otros científicos contemporáneos que de forma independiente desarrollaron teorías análogas a las suyas.

El 29 diciembre de 1959, Feynman produjo una revolución en las ciencias después que, en la reunión anual de la Sociedad Americana de Física que se desarrolló en el Instituto de Tecnología de California (CalTech), ofreciera una conferencia titulada "Hay mucho espacio en el fondo" ("There's plenty of room at the bottom"). En esa oportunidad provocó a todo el auditorio comenzando la charla con una pregunta: "¿Por qué no podemos escribir los 24 volúmenes completos de la Enciclopedia Británica en la cabeza de un alfiler?".

En el discurso Feynman reflexionaba: "Los principios de la Física, tal y como yo lo veo, no impiden la posibilidad de manipular las cosas átomo a átomo", refiriéndose así, a la posibilidad de crear tecnología desde una nueva perspectiva basada en la manipulación y el control de objetos tan pequeños como los propios átomos.

Feynman expresaba en aquel entonces, "En el mundo de lo muy, muy pequeño, muchas cosas nuevas podrán suceder, porque los átomos se comportan

de manera distinta a como lo hacen los objetos a mayor escala, pues deben satisfacer las leyes de la mecánica cuántica⁷. Si nos reducimos y comenzamos a jugar con los átomos allá abajo, estaremos sometidos a unas leyes diferentes, y podremos hacer cosas diferentes". Esta idea que sonaba a ciencia-ficción, venía avalada por el hecho de que, según Feynman, esta manipulación de los átomos no contradecía ninguna ley física, y por tanto, no había ningún motivo para que no pudiese llevarse a cabo.

A pesar de la impresionante clarividencia de Feynman, en que la dirección a seguir por la ciencia fuese la planteada en su discurso, fue necesario que pasaran al menos 30 años para que sus ideas empezasen a concretarse, principalmente por la falta de herramientas adecuadas que permitiesen la manipulación de átomos y moléculas.

Es importante destacar que si bien sus reflexiones fueron publicadas en la revista *Engineering & Science* al año siguiente de acontecido el discurso, su artículo apenas fue consultado y citado en escritos o conferencias anteriores de 1980. Quizás por los prejuicios o la incompreensión de sus pares, tuvieron que pasar casi 20 años para que lo expresado por Feynman en aquella oportunidad, cobrara vigencia y valor científico.

Hoy en día Feynman es considerado uno de los científicos más brillantes de la historia, que contribuyó en muchos campos de la física hasta su muerte en 1988.

A fin de comprender más cabalmente su clarividencia nos quedamos con estas palabras suyas de la conferencia "en el año 2000, cuando miren hacia atrás a esta época, se preguntarán por qué nadie empezó a moverse seriamente en esta dirección sino hasta 1960".

El futurólogo Erik Drexler

Eric Drexler, con frecuencia llamado "el padre fundador de la nanotecnología", es un ingeniero estadounidense conocido por predecir los potenciales de la nanotecnología durante las décadas de 1970 y 1980. Estableció los principios fundamentales de la ingeniería molecular y las posibilidades de desarrollo de las nanotecnologías avanzadas.

⁷ En este campo de la física, las magnitudes tales como la energía y otras cantidades importantes están normalmente cuantizadas. no pueden tomar cualquier valor, sino sólo ciertos valores posibles, que pueden ser determinados en experimentos o mediante complejas ecuaciones matemáticas

Predijo que la nanotecnología podría usarse para solucionar muchos de los problemas de la humanidad, pero también podría generar armas poderosísimas.

Sus investigaciones en el campo de la nanotecnología molecular han sido el origen de cuantiosos artículos de revistas científicas en los que se tratan temas referidos a: Maquinaria Molecular, Fabricación, y Computación. En sus publicaciones y conferencias, el Dr. Drexler describe la implementación y aplicaciones de las nanotecnologías y muestra cómo pueden ser utilizadas para resolver problemas a gran escala, como por ejemplo el calentamiento global. Es por ello que ha trabajado, en colaboración con el Fondo Mundial para la Naturaleza, en la búsqueda de soluciones basadas en la nanotecnología a los problemas globales como la energía y el cambio climático. Drexler es, actualmente, académico visitante en la Universidad de Oxford y fue galardonado con un doctorado en Nanotecnología Molecular del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), el primero en su tipo.

Cuando a principios de los años 80 tuvo que preparar su tesis doctoral para el MIT, la visión de Richard Feynmann, respecto de la miniaturización a escala molecular, estuvo muy presente en su obra, y logró plasmar las ideas del Físico de forma tan clara y convincente que sus escritos se transformaron en el libro “Motores de la creación: la próxima era de la nanotecnología” Hoy convertido en un clásico de la nanociencia.

Así comienza el libro: “Carbón y diamantes, arena y procesadores de computadoras, cáncer y tejido sano: a través de la historia las variaciones en el orden de los átomos han diferenciado lo barato de lo caro, lo sano de lo enfermo. Cuando están ordenados de una manera, los átomos forman el suelo, aire y agua; si los colocamos de otra manera, obtendremos una fresa madura. De una forma producen hogares y aire fresco, y de la otra cenizas y humo” (Drexler. 1976)

En otros de sus párrafos Drexler afirma que: “Podemos usar los términos ‘nanotecnología’ o ‘tecnología molecular’ para describir un nuevo estilo de tecnología. Los ingenieros de esta nueva tecnología construirán nanocircuitos y nanomaquinarias”. Es una concepción de la nanotecnología con visiones de futuro al límite de la ciencia ficción y de las cuales interesa destacar las siguientes:

- Creación de máquinas de dimensiones atómicas, que realizaran ensamblajes en la nanoescala y que potencialmente podrían auto replicarse para realizar sus tareas.
- Maquinas “devoradoras” de contaminación, o que posibiliten la generación de materiales que reemplacen a los recursos naturales escasos

- Maquinas enemigas ‘inteligentes’ del cáncer o que pueden llegar a ser pequeños y letales nanorobots.

Si se considera la época en la que fue escrito este texto, se puede decir que el autor predijo de forma asombrosa el futuro de la ciencia: el desarrollo de una tecnología para manipular el orden de los átomos. Por eso se puede decir de él, que es el “futurólogo” de la nanociencia.

Los planteos intrépidos de Drexler han generado discrepancias en el mundo científico abocado a la nanociencia y en cierta forma ha generado tal resistencia, que en la actualidad las aplicaciones de la nanotecnología a gran escala, parten de desarrollos a escala mayor que producen resultados en la nanoescala y no a partir de la forma intrépida que lo ha señalado en su libro.

Grandes acontecimientos y descubrimientos

La miniaturización: una puerta al mundo nano

Durante su famoso discurso, el físico Richard Feynmann propuso soluciones a ciertos problemas, por ejemplo, cómo disminuir el tamaño de las computadoras. Es decir, que sería necesario y cómo habría que hacer para lograr miniaturizaciones de dispositivos. El único inconveniente que presentaban sus propuestas era que resultaban técnicamente imposibles para la época. Igualmente se menciona por primera vez la posibilidad de disminuir el tamaño de los objetos: se comienza a hablar de la miniaturización.

En las décadas posteriores a que se pusieran de manifiesto las ideas de Feynman, se inicia el desarrollo tecnológico en pos de la conquista del espacio. En la construcción de los satélites, uno de los problemas logísticos más importante a resolver era como y donde acumular la impresionante cantidad de datos científicos que fueran recogidos por el artefacto, ya que en los años '60 y '70 se disponían de ordenadores enormes almacenados en depósitos de muchos metros cuadrados. Es así como se genera la necesidad de investigar, arduamente, en la posibilidad de producir cosas más pequeñas para dar lugar al desarrollo tecnológico, comenzando el camino de la miniaturización llegando hasta nuestros días a la *ultraminaturización* que es una de las puertas de ingreso a la nanociencia

Al mismo tiempo, en el mundo de la informática, en 1965, el cofundador de Intel⁸, Gordon Moore, tuvo una visión de futuro. Su predicción, conocida popularmente como la Ley de Moore, plantea que el número de transistores de un chip se duplica cada dos años y que lo mejor está aún por llegar. Concretamente predijo que para la primera década de este siglo el número de transistores en un chip que debía tener una computadora (del orden del trillón) requeriría que estos tuvieran tamaño nanométrico. Desde entonces, la microelectrónica integra en los chips cada vez más transistores por unidad de superficie. Esto permite, en la actualidad, la gran capacidad de procesamiento que tienen las computadoras, particularmente, los sistemas portátiles

La predicción de Moore es convertida en realidad por su empresa, incorporando el silicio como material de los componentes e intensificando la revolución tecnológica mundial y la carrera por conseguir procesadores con mayor capacidad y cada vez más pequeños. De hecho Intel fabrica su primer procesador en 1971, seis años después de la publicación del artículo de Moore. En su interior contenía 2.250 transistores.

En la actualidad, un solo chip tiene decenas de millones de transistores, y los microprocesadores con más de 100 millones de transistores, son cada vez más comunes.

Las predicciones matemáticas de Moore contribuyeron a abrir el camino a la nanociencia a través de la miniaturización pero no finalizan en la nanotecnología sino que para el 2040 pronostican que los transistores deberán ser de tamaño molecular.

Al fin un nombre

El término nanotecnología lo empleó por primera vez, en el año 1974, el Ingeniero japonés Norio Taniguchi para definir la tecnología de producción a la escala del nanómetro.

Si bien fue la primera vez que se utilizó el término, no se generalizó su uso hasta que fuera consagrado por Eric Drexler, otro de los personajes claves en la historia nano, casi veinte años después en su libro titulado "Máquinas de Creación".

⁸ Empresa considerada como la mayor fabricante de circuitos integrados del mundo

El descubrimiento de los fullerenos

Otro suceso importante, lo aportaron en 1985 los químicos Richard E. Smalley, Robert F. Curl y Harold W. Kroto, cuando descubrieron una forma de carbono distinta al diamante y el grafito: el carbono 60, una molécula de carbono con la forma de pelota de fútbol, de aproximadamente 0.7 nanómetros.

Los Científicos que investigaban en la Universidad de Rice (en Houston, Texas), conjuntamente con algunos doctorandos, estudiaban el carbono utilizando la espectroscopía de láser por chorro supersónico, una herramienta muy potente que permite el análisis de pequeñas porciones de materia vaporizadas con un láser.

Hasta ese momento, sólo se conocían dos formas cristalinas del carbono: el grafito, cuya estructura laminar lo convierte en una de las sustancias más blandas que existen y el diamante, que es el elemento de mayor dureza por su estructura tetraédrica.

En sus experimentos con el grafito, el equipo registró una nueva forma cristalina del carbono, cada una de las cuales contenía el equivalente a 60 o 70 átomos que se disponían de manera tal de formar un icosaedro irregular, con caras pentagonales y hexagonales, es decir, una molécula de aspecto semejante a una pelota de fútbol, por lo que, en un principio, fue bautizada como *futboleno*. También recibió el nombre provisional de *buckybola*, por la similitud de su estructura con la famosa cúpula geodésica del arquitecto norteamericano Richard Buckminster Fuller. Del mismo personaje derivó el nombre genérico de fullerenos para denominar a las muchas sustancias de la familia que presentan variaciones estructurales en forma de tubos y jaulas.

Durante una entrevista con la revista *Investigación y Ciencia*, en noviembre de 1993, Smalley, manifestó que no le interesaban los beneficios económicos de los fullerenos. "Lo que más deseo, dijo, es que dentro de *x* años, algunas de mis criaturas estén sirviendo para cosas útiles". Y por las aplicaciones de sus criaturas que, cada vez son mayores, es muy posible que su deseo se cumpla.

La Historia oficial de los nanotubos

El descubrimiento de los fullerenos dió origen a una serie de investigaciones que derivaron en los nanotubos de carbono.

En el año 1952, durante la guerra fría⁹, la revista **Russian Journal of Physical Chemistry** (Yam, Philip, 2011), diario oficial de química y física de la Unión Soviética, divulgó un artículo realizado por dos investigadores rusos llamados, L. V. Radushkevich y V. M. Lukyanovich, donde se mostraban una serie de imágenes muy claras de 50 tubos de carbono de diámetro nanométrico. Esta publicación, que puede considerarse la primera evidencia de la existencia de nanotubos de carbono, pasó casi inadvertida para los científicos occidentales, ya que además de estar escrito en idioma ruso, el acceso a prensa soviética durante la guerra fría era casi imposible. Según algunos estudiosos de la materia, es probable que se produjeran nanotubos, en laboratorios, con anterioridad a esta fecha (aunque no existen documentos que respalden estas apreciaciones).

Es por ello que los nanotubos de carbono fueron preparados “oficialmente” por primera vez en 1991 por Sumio Iijima en el laboratorio de Investigación Fundamental de NEC, ubicado en la ciudad japonesa de Tsukuba. El investigador, quien durante muchos años había estudiado la estructura a escala atómica de las fibras de carbono, después de enterarse de la posibilidad de producir grandes cantidades de fullerenos, puso en práctica un experimento para verificar la formación de esa forma del carbono. Así, pasando chispas eléctricas a través de dos barras de grafito, Iijima las vaporizó, obteniendo carbono condensado en una masa tipo hollín, donde esperaba encontrar el fullereno o C₆₀.

Cuando observó la muestra al microscopio ese hollín no era C₆₀, sino pequeños tubos de carbono de unos cuantos nanómetros de ancho. Eran de forma regular y simétrica como si se tratase de un cristal, de una sorprendente longitud y cuyo espesor es 10.000 veces menor que el de un cabello humano, que a causa de su forma no tardaron en llamarse “nanotubos”.

Iijima observó nanotubos de carbono a los que se llamó de paredes múltiples, cuya característica es que cada uno contiene cilindros huecos de átomos de carbono uno dentro de otros, en forma concéntrica. Dos años después, desarrolló los nanotubos de pared única, que están formados exclusivamente de una capa de átomos de carbono. Al mismo tiempo, casi simultáneamente, Donald Bethune perteneciente a IBM, realizó el mismo descubrimiento. Ambos tipos de

nanotubos fabricados de modo parecido, tienen muchas propiedades similares, la más obvia, su enorme longitud y pequeño diámetro. Tienen un diámetro de unos nanómetros y su longitud puede alcanzar hasta un milímetro, por lo que dispone de una relación longitud-radio tremendamente alta y hasta ahora sin precedente. Los nanotubos de carbono son las fibras más fuertes que se conocen y poseen propiedades eléctricas muy interesantes.

Por ello, cuando se comenzaron a realizar estudios de las propiedades de los nanotubos, descubrieron algunas extraordinarias como su superlativa elasticidad, resistencia a la tracción y estabilidad térmica: un solo nanotubo perfecto, por ejemplo, puede llegar a ser 10 a 100 veces más fuerte que el acero por peso de unidad. Sin embargo, quince años más tarde, los primeros productos que incorporaron nanotubos no lo hicieron en razón de tales atributos, sino en virtud de sus propiedades eléctricas, ya que conducen la corriente eléctrica cientos de veces más eficazmente que los tradicionales cables de cobre.

Sentando bases para el autoensamblaje

Los científicos Donald Cram, y Charles J. Pedersen, de origen norteamericano, junto con el químico francés Jean Marie Lehn, recibieron en 1987 el premio Nobel por sus investigaciones en torno a la química supra-molecular, más precisamente en el campo del diseño de moléculas que imitan procesos biológicos.

Para comprender la importancia en el mundo nano de estos desarrollos, es elemental conocer acerca de la química supramolecular. Nada mejor para ello que considerar las propias palabras del Dr Lehn extraídas de una entrevista realizada por la revista de divulgación científica “UAB Divulga” (2012) en oportunidad de un Congreso. “La química molecular es el estudio de las entidades que se obtienen mediante la combinación de átomos, las moléculas. Y la química supramolecular es un paso más allá, es el estudio de cómo las moléculas interactúan entre ellas. Entre estas interacciones está el reconocimiento molecular, es decir, la forma en que las moléculas se reconocen mutuamente, que es muy importante. Todas las funciones en un organismo vivo, como un ser humano, comienzan con el reconocimiento entre las moléculas, y por tanto están en un nivel supramolecular. Para el público, a menudo digo que las moléculas son como las personas, así la química molecular, trata de personas. Entonces la química supramolecular se ocupa de la sociedad. Es una sociología química, por decirlo de alguna manera”..... “La química supramolecular nos sirve para entender cómo se forma un sistema vivo a partir del mundo no viviente”.

⁹ Se conoce con este nombre al enfrentamiento que mantuvieron desde 1945, fin de la segunda Guerra Mundial, hasta la caída del comunismo entre 1989 y 1991, marcado por el fin de la URSS y la caída del Muro de Berlín, los bloques occidental-capitalista, encabezado por los Estados Unidos y el oriental-comunista, liderado por su lado por la Unión Soviética.

En función de ello el Dr. D. Cram, demostró en sus investigaciones que era posible “fabricar” en un laboratorio, moléculas que pueden reaccionar selectivamente con otros átomos y compuestos tal y como lo hacen las enzimas en los organismos vivos. Para el diseño de las moléculas empleó técnicas avanzadas de síntesis orgánica¹⁰ y cálculos teóricos, aunque cabe aclarar que la obtención de estos compuestos fue de forma ocasional, ya que su investigación perseguía otros objetivos.

El estudio de la estructura y propiedades físicas y químicas de estas moléculas, permite conocer el origen del fenómeno de la alta selectividad que se da en los procesos biológicos. Algunas de estas moléculas reproducen hasta cierto punto el comportamiento de algunas enzimas. Otros tipos de moléculas forman complejos tan específicos que permiten separar incluso isótopos del mismo elemento químico.

Lehn desarrolló, sobre las bases del descubrimiento de Pedersen, compuestos cuya selectividad a la hora de formar complejos era incluso mayor. También obtuvo una molécula capaz de combinarse con el neurotransmisor acetilcolina, el transmisor químico de las señales en el sistema nervioso.

La química supramolecular ya es aplicada ampliamente, como por ejemplo: sensores, la elaboración de nuevos materiales más respetuosos con el medio ambiente, la fabricación de medicamentos.

Grandes ideas, grandes diferencias

A lo largo de su historia, la nanotecnología ha provocado famosas divergencias entre los científicos acerca de los alcances de la misma. Una de las más comentada y de público conocimiento es la que se produjo entre Drexler y el premio Nobel, Richard Smalley, considerado uno de los científicos que aportaron a la nanociencia (se amplía información en el título el descubrimiento de los fullerenos).

Smalley ha cuestionado duramente las teorías de las ‘nanomáquinas’ auto-replicantes, y los temores que esta perspectiva despierta en la sociedad. Escribió a Drexler: “Tú y gente como tú han asustado a nuestros niños”, al criticar la posibilidad del ensamblaje o la fabricación a nivel molecular pronosticado en “Los motores de la creación”.

¹⁰ La síntesis de compuestos es una de las partes más importantes de la química orgánica donde se construyen planificadamente moléculas orgánicas mediante reacciones químicas

Ya fallecido en el 2005, Smalley sostenía la importancia de lograr tecnologías a la escala normal que permitan obtener resultados a la escala del nanómetro, pero Drexler ha insistido en la potencialidad de las nanomáquinas y de la fabricación a nivel molecular, a través de su sitio web: e-drexler.com. El Científico Premio Nobel, advirtió en sus escritos que existen dos definiciones muy diferentes de la nanotecnología, y que hay una que prefieren algunos científicos, técnicos, empresarios y burócratas que es aquella que utiliza el término para describir productos con propiedades especiales a una escala menor a 100 nanómetros. Esta definición puede incluir cualquier cosa pequeña, tal vez productos que ya existían de antes y ahora son vendidos como nanotecnología. Smalley resalta “Esta redefinición ha creado confusión, ha generado falsas expectativas, y ha obstaculizado el avance hacia la meta original, más poderosa”.

Drexler manifiesta que casi no hay recursos para investigación de la fabricación a nivel molecular. La creación de las nanomáquinas, dice, permitiría entrar en posesión de herramientas poderosas, capaces de construir grandes cosas con precisión atómica.

El concepto, aunque futurista, está muy asociado a las leyes de la naturaleza: se considera que los ‘motores’ y otras piezas relacionadas con la acción por parte de estas nanomáquinas podrían estar basados en una verdadera “ingeniería de las proteínas”, o que enzimas podrían actuar como “máquinas capaces de construir o destruir moléculas”. Luego, esas mismas máquinas bioquímicas podrían ser utilizadas para hacer otras, más complejas.

En conclusión, este debate muestra claramente las dos posiciones tomadas por los científicos abocados a la nanociencia y que se sostiene aun en la actualidad.

Grandes Aliados

La puerta para ver átomos

Además de la miniaturización, de la que ya hablamos, el mundo nano tiene otra puerta de ingreso, la manipulación de átomos individuales planteada por Feynman y considerada en su momento ciencia ficción. Esta puerta estuvo vedada a la ciencia hasta 1981 y recién pudo ser abierta por los investigadores G. Binnig y H. Rohrer, cuando trabajando en los laboratorios de IBM en Zürich, inventaron el **microscopio de efecto túnel (STM)**. Este equipo permite obtener una imagen de la estructura atómica de la materia con una alta resolución, en la que

cada átomo se puede distinguir de otro.

El tiempo que se tardó en concretar este equipo no es casual, ya que su funcionamiento se basa en un proceso imposible de fundamentar dentro de las leyes de la dinámica clásica utilizando la mecánica cuántica para tal fin. Plantea un efecto cuántico que ocurre en distancias menores a la millonésima parte de un metro, llamado efecto túnel, donde una partícula es capaz de atravesar una barrera de potencial cuya altura es mayor a su propia energía. La resolución es mucho mayor y podríamos por tanto, hablar de 'Ångstroncopios' (1 Ångstrom = 10^{-10} metros) o 'nanoscopios' si nos refiriésemos a los microscopios con mayor poder resolutivo como este. De esta manera no solo se puede "ver" a los átomos, sino también tocarlos, moverlos y manipularlos.

Los microscopios de efecto túnel también han sido utilizados para producir cambios en la composición molecular de las sustancias.

Estos investigadores ganaron el Premio Nóbel en 1986, abriendo un mundo nuevo a la ciencia: la posibilidad de ver y manipular átomos y moléculas, permitiendo, por tanto, que muchas de las ideas de Feynman pudiesen hacerse realidad.

Haciendo realidad los sueños

En el año 1989, se produjo una revolución en el mundo nano cuando los científicos de IBM Don Eigler y Eric Schweizer, consiguieron por primera vez mover átomos utilizando un microscopio de efecto túnel (STM) y escribieron el nombre de la empresa, usando 35 átomos de xenón sobre níquel, poniendo en evidencia que aquello que transmitiera Richard Feynman en su discurso, 30 años atrás, era posible.

Pero para IBM y su grupo de científico, fue solo la primera demostración de lo que era posible y en el transcurso de estos años ha realizado otras experiencias de manipulación, entre ellas, un cortometraje llamado "A Boy and His Atom" (Un Niño y su Átomo) por el que obtuvieron el Récord Mundial Guinness al "Film Stop-Motion más pequeño del mundo". A Boy And His Atom se creó con la ayuda de un microscopio de efecto túnel de barrido con el que crearon 252 cuadros de los átomos dispuestos individualmente, necesarios para la película, sobre una superficie de cobre.

A tan sólo un nanómetro de la superficie- que es de mil millonésimas de metro en distancia- la aguja del STM puede atraer físicamente átomos y moléculas de la superficie y llevarlos a una ubicación especificada con precisión. El átomo en movimiento produce un sonido singular, que constituye la señal crítica que

permite identificar cuántas posiciones realmente se ha movido.

El argumento de A Boy And His Atom relata la historia de un personaje llamado Atom, que se hace amigo de un átomo individual y sale a dar un paseo, durante el cual baila, juega a atrapar la pelota y salta en una cama elástica, con una alegre banda musical de fondo.

Mirando más al fondo: El microscopio de fuerza atómica (AFM)

Los científicos Gerd Binnig y Heinrich Rohrer, continuaron en el intento de mirar "más al fondo" según proponía Feynman y, procurando superar lo logrado con el microscopio de efecto túnel STM, desarrollaron el Microscopio de Fuerzas Atómicas ("atomic force microscopy" o AFM)) conocido también por el nombre de microscopio de sonda o campo cercano ("scannig probe mcroscopy" o SPM).

Este nuevo aliado de la nanotecnología fue presentado en 1986, el mismo año que recibieron el premio Nobel.

Aunque ya se habían fotografiado moléculas con anterioridad, llegar a obtener resolución atómica con un STM no era tarea fácil ya que es indispensable aislar el microscopio de vibraciones (tanto mecánicas como electrónicas) y de esta manera conseguir estabilidad.

Este microscopio tiene un funcionamiento similar al STM, la diferencia más notable es que en el caso del STM la imagen representa en realidad la densidad de estados electrónicos de la muestra. Es decir, en una imagen con resolución atómica de STM, las "esferas" que vemos no siempre corresponden a los átomos, sino a la densidad de carga en torno a ellos. Esto hace que su interpretación no sea siempre evidente. Por otra parte, las imágenes de AFM, dependen mucho menos de la naturaleza electrónica del material, y por tanto las imágenes que genera son mucho más cercanas a la topografía real del material.

A su vez, el microscopio de efecto túnel o STM tiene un uso restringido solo a superficies metálicas o semiconductoras, de alguna manera considerada una dificultad que logró superar el microscopio de fuerzas atómicas o AFM.

Aunque los dos microscopios, de STM y AFM, son similares e históricamente comenzaron afrontando los mismos problemas, con el tiempo cada una de ellos fue adquiriendo su propio campo de aplicación. El AFM, es mucho más versátil que el STM, y se emplea sobre todo en los estudios de superficies tanto en aire como en líquidos.

Uno de los campos en los que el AFM se está empleando de manera más importante es el de la biología ya que la posibilidad de realizar imágenes dentro de una solución y sin necesidad de irradiar la muestra es de vital importancia para mantener las condiciones fisiológicas del material biológico. Otra ventaja importante es la posibilidad de obtener imágenes aplicando fuerzas pequeñas para evitar deformar el material.

En el año 2009, empleando un Microscopio de Fuerzas Atómicas (AFM), en el centro de IBM de Zúrich, se logró visualizar la estructura química del pentaceno ($C_{22}H_{14}$, consistente en cinco anillos de benceno enlazados y forman una cadena aromática). Aunque ya se habían fotografiado moléculas con anterioridad, era la primera vez que se conseguía una fotografía con resolución atómica.

Este acontecimiento es considerado un hito en el ámbito de la nanotecnología y la electrónica molecular y un avance en el desarrollo porque lo que se “ve” es el enlace químico o sea el intercambio de electrones entre los átomos. Los electrones se ubican con más frecuencia en una zona que en otra, produciendo una fuerza eléctrica que une los átomos en función de las propiedades de los mismos, como la electronegatividad o tendencia a atraer electrones, para formar estructuras más estables. Esto se puede observar con un AFM.

Este suceso parece un pequeño avance, pero la oportunidad de “ver” un enlace químico de una molécula abre nuevas puertas al entendimiento del complejo mundo de la interacción entre las moléculas con las superficies: biomateriales funcionales, conductores orgánicos, detalles íntimos de reacciones químicas y catálisis, entre otros.

Una pequeña modificación a la microscopía de fuerza atómica (AFM) bautizada como microscopía de fuerzas de sonda Kelvin (KPFM) fue desarrollada por un físico italiano llamado Andrea Liscio, del Instituto de Síntesis Orgánica y Fotoreactividad del Consejo Nacional de Investigación, en Bolonia (Italia). El KPFM permite analizar materiales y representar sus propiedades eléctricas con detalle nanoscópico. La técnica utilizada es de enorme interés en el estudio tanto de muestras conductoras como de semiconductoras, así como capas delgadas de óxido y de un modo no-invasivo. Gracias a este hecho se podrá ayudar a desarrollar dispositivos electrónicos eficientes y de bajo coste fabricados en plástico, como células solares de plástico o de nuevos tipos de transistores.

El sistema KPFM amplía el rendimiento de un microscopio de fuerza atómica clásico. Liscio ha señalado en sus publicaciones que han estudiado una amplia gama de muestras y estructuras con tamaños que van desde varias micras a unos pocos nanómetros, y que los resultados indican que operando el KPFM a eleva-

das frecuencias es posible visualizar diferentes comportamientos eléctricos en las muestras con nanoestructura.

Nanomotores

Los nanomotores constituyen un interesante campo de investigación en nanotecnología ya que se tratan de estructuras de escala nanométrica capaces de convertir energía química en trabajo o fuerza del orden de los piconewtons (10^{-12} Newtons, unidad de fuerza en el Sistema Internacional). En general, para la construcción de un nanomotor los científicos se inspiran, una vez más, en la propia naturaleza. Encontramos ejemplos de nanomotores de gran belleza en bacterias flageladas. En estas bacterias se convierte la energía química almacenada en la Adenosina trifosfato (ATP)¹¹ en trabajo mecánico. El diseño de nanomotores permitiría llegar más lejos y construir nanorobots, capaces de realizar toda una serie de funciones que incluso pueden llegar a ser terapéuticas, como por ejemplo el transporte por el organismo de fármacos y su dosificación en el lugar adecuado.

Se describen a continuación algunos logros alcanzados en este tema.

En el año 2000 los laboratorios Luncet y Bell, conjuntamente con la Universidad de Oxford, crean el primer nanomotor de ADN; para construir esta máquina se ha usado esperma de salmón y está basado en reacciones químicas naturales.

Por otra parte Científicos de la University of California en Berkeley en julio del 2003 han creado otro nanomotor, un rotor de oro sobre un eje de nanotubo que podría viajar a bordo de un diminuto virus, Se trata del motor sintético más pequeño del mundo. Estos motores podrían tener numerosos usos. Como se pueden colocar en cualquier ángulo, podrían utilizarse en diversas aplicaciones, como por ejemplo, en circuitos ópticos para redirigir luz o como osciladores de microondas o para mezclar líquidos en minúsculos aparatos, etc. Como las investigaciones a escala nanométrica son complicadas, las técnicas para medir la velocidad de rotación del nanomotor aún no son demasiado efectivas.

En 2005, científicos holandeses dieron a conocer el primer nanomotor rotatorio *light-driven* sujeto a una superficie sólida, una nanopartícula de oro. Desde entonces, la evolución de estos dispositivos han permitido hacer girar objetos de un tamaño 10.000 veces superior al del motor.

11 Compuesto químico complejo formado por la energía liberada por los alimentos, que se almacena en todas las células, y, a partir de la energía liberada por su descomposición la célula puede realizar su trabajo biológico

El único problema que plantean estos nanomotores es su “encendido” y “apagado”, ya que estos deben estar acoplados a una fuente de energía y transformarla en energía mecánica de la forma más eficiente posible.

A pesar de toda esta serie de obstáculos, la nanorobótica, fabricación de máquinas, o robots, de dimensiones nanométricas, avanza imparable y en un futuro no muy lejano empezará a dar resultados visibles. A día de hoy algunas de sus posibilidades parecen prácticamente de ciencia ficción

Ensamblador nanotecnológico

Uno de los desafíos de la “Nanotecnología Drexleriana”¹² es que aun no puede contar con una nanomáquina, que si bien en la actualidad no es una realidad, se encuentra en etapa de investigación.

La empresa Zyvex fundada en 1997 con sede en Richardson, Texas, es la primera compañía nanotecnológica. Actualmente se encuentra abocada al desarrollo de lo que se ha dado en llamar *el ensamblador universal* o máquina precursora de ensamblaje (sería la primera nanomáquina que ayudaría a la creación de nanomáquinas posteriores) y estiman que podría ser una realidad dentro de algunos años.

Para el logro de este objetivo se está trabajando en tres líneas investigativas, que se describen a continuación:

- Creación de dispositivos que pueden fabricar versiones más pequeñas de ellos mismos, y a su vez, estos crearían versiones más pequeñas aún.
- Creación de piezas ensambladas que se pueden manipular y luego armar (montar) en tres dimensiones.
- El tercer método consiste en desacelerar una capa de átomos en una superficie, luego ponerlos en orden y después montar encima otra capa de átomos.

La clave para la producción con estos ensambladores a gran escala es la auto-reproducción. Un robot de tamaño nano haciendo trabajos en madera en tamaño nano puede ser extremadamente lento. Pero si estos ensambladores se pueden reproducir así mismos, podemos tener trillones de ensambladores trabajando conjuntamente. Entonces no tendríamos límites para el tipo de cosas que quisiéramos crear y se harían realidad las palabras de Drexler: “No solo el proceso de

fabricación se transformará, sino todo el concepto del trabajo. Los productos de consumo serán prácticamente ilimitados, de poco valor, inteligentes y duraderos”

Lo extraordinario sería la capacidad que tendrían estas máquinas moleculares para tomar moléculas de su entorno para reproducirse, creando un número ilimitado de robots moleculares, que con un tamaño aproximado de una millonésima de metro, manipularían átomos individuales, creando fábricas a nivel atómico. Al igual que los virus y bacterias, tendrían la propiedad de producir duplicados de sí mismos, por lo que se multiplicarían como seres vivos y modificarían el entorno que las rodea.

Con estas nuevas máquinas, la nanotecnología se perfila como una de las revoluciones tecnológicas multidisciplinarias que llevarán a la sociedad a reducir todavía aún más la mano de obra necesaria para producir lo que se consume, ya que se reduce de manera drástica la cantidad de materia prima necesaria y la mano de obra para producir una amplia gama de productos y servicios.

12 Término extraído de www.info-ab.uclm.es. Se denomina de esta manera al desarrollo de investigaciones en nanotecnología basadas en el concepto de nanomáquinas impulsado por Drexler.

CAPÍTULO III

Nanomateriales: Construyendo la Nanotecnología

María Eugenia Alassia

La vida del hombre en la tierra ha sido marcada fuertemente por el desarrollo de nuevos materiales y tecnologías, de tal manera que la historia de la humanidad se ha encargado de destacar estos desarrollos como hitos que cambiaron el mundo para siempre. La Edad de Piedra, la Edad de Bronce, la Revolución Industrial, son ejemplos claros de cómo los materiales y métodos dejaron su impronta en la historia de la tecnología. Del mismo modo, los nanomateriales tienen un protagonismo central en esta nueva era, tan revolucionaria como prometedora, y que la historia será la encargada de analizar, cuánto y cómo habrán de cambiar el mundo actual.

En capítulos anteriores hemos aprendido acerca del surgimiento de la Nanotecnología, cuyo enorme potencial radica principalmente en la posibilidad de “ver, tocar y manipular” la materia en la nanoescala. En este capítulo nos concentraremos en estudiar los nanomateriales, que pueden considerarse como los bloques de construcción que se utilizan en el mundo de la Nanotecnología. El término nanomateriales comprende a los materiales que presenten al menos una dimensión, ordenamiento o estructuración en la escala nanométrica, aproximadamente desde 1 a 100 nanómetros. Con esta condición ubicamos este desarrollo ingenieril entre los materiales macroscópicos o masivos que llegan incluso al tamaño de los micrómetros (10^{-6} m o 0,001 mm) y el comportamiento atómico molecular cuyas dimensiones están por debajo de las décimas del nanómetro. Esta definición no implica que el tamaño del nanomaterial sea pequeño, sino que alguna de sus dimensiones este comprendido dentro de la nanoescala. Por ejemplo, un material puede ser muy extenso, macroscópico (como una película recubriendo un parabrisas), pero su espesor es sólo de algunos nanómetros, entonces éste es un nanomaterial.

De igual modo, si el material está formado por partículas dispersas en un medio, como en una pintura, y si estas partículas son de dimensiones nanométricas, esa pintura también es un nanomaterial.

Si bien la Nanotecnología es una disciplina relativamente nueva, los nanomateriales han existido mucho antes de que pudiéramos ser capaces de asociar sus particulares propiedades a su tamaño. Ya se han mencionado en el Capítulo 2 numerosos ejemplos donde es posible encontrar el uso de nanomateriales en la Historia de la Humanidad. Así encontramos aplicaciones de nanomateriales en la dureza de las espadas de Damasco, en la diversidad de colores de los vitreaux de las catedrales europeas de la Edad Media o en los trazos que el Azul Maya ha dejado en expresiones del arte precolombino. En todos los casos, la nanotecnología ha logrado dar respuesta a las propiedades extraordinarias de estos materiales, convirtiendo a los artesanos de antaño en verdaderos nanotecnólogos o “nanoartistas”.

Muchos otros ejemplos de nanomateriales podemos encontrar en la naturaleza. Los organismos vivos presentan algunas moléculas, como los aminoácidos o el ADN, y estructuras biológicas, como la membrana celular y las células receptoras del olfato, con dimensiones dentro de lo que llamamos escala nanométrica. En muchos casos, es posible explicar el comportamiento, función o las propiedades de éstas estructuras y moléculas biológicas como consecuencias de sus dimensiones, por lo que podrían considerarse como nanomateriales. Algunos ejemplos representativos se desarrollan a lo largo de este capítulo para describir cómo la estructura del material determina algunas de sus propiedades. Si nos preguntamos qué tienen en común la impecable apariencia de las hojas de loto, la diversidad de colores del horizonte de un atardecer, la notable adherencia que presentan las salamandras o geckos al caminar sobre un techo, encontraremos la respuesta en nanomateriales.

Entonces, si la naturaleza ha evolucionado aprovechando las propiedades de las dimensiones nanométricas, produciendo nanomateriales durante miles o millones de años, ¿cómo es que el desarrollo de la Nanotecnología y los Nanomateriales nos ha llevado tanto tiempo? La respuesta es simple y radica en el hecho de que sólo hace un par de décadas que el avance tecnológico y científico nos permite “ver”, descubrir y explicar el comportamiento de estos nanomateriales que la naturaleza se encargó de moldear con la evolución o que los humanos fueron capaces de fabricar, casi por casualidad. Es más, científicos e ingenieros pueden redoblar la apuesta y tras el conocimiento y la comprensión de estas estructuras y sus propiedades, fabricar de manera controlada, reproducible y estable, nuevos materiales: nanomateriales.

El origen de las propiedades extraordinarias

El desarrollo de la nanotecnología está asociado a una nueva ciencia de materiales donde los materiales y estructuras “conocidas” se comportan de manera poco convencional cuando se reduce drásticamente su tamaño. Así, los nanomateriales presentan propiedades “extraordinarias” como consecuencia de su tamaño o estructuración nanométrica. Por otra parte, se ha expresado que este comportamiento puede ser descrito al ubicar a los nanomateriales entre los límites de la materia macroscópica y las moléculas. Sin embargo y por el momento, hemos aceptado esta característica del mundo nano como una “verdad ciega” sin entrar en detalles sobre cuáles son los cambios sustanciales que sufre la materia en esta escala, y que son los responsables de la aparición de nuevas y curiosas propiedades. Es precisamente, en esta sección, donde se profundizará sobre la relación “propiedades-estructura”, brindando al lector las herramientas básicas, para comprender cómo se ven afectadas las características más comunes de un material, al acercarse a dimensiones moleculares. Para ello se propone recorrer esta sección recordando conceptos de la química del estado sólido y las propiedades eléctricas de la materia. Aunque el camino resulte sinuoso, nos llevará a comprender el mundo de los nanomateriales y descubrir algunos de sus secretos.

Átomos, moléculas y sólidos

Comenzamos por la unidad básica de la materia: el átomo. El átomo está formado por tres tipos de partículas: protones (partículas con carga positiva), neutrones (partículas sin carga) y electrones (partículas con carga negativa). En el centro del átomo se encuentra un núcleo extremadamente denso y pequeño donde se concentra prácticamente toda la masa del mismo y que está determinada por la cantidad de protones y neutrones que los forman. Los electrones se mueven alrededor de este núcleo formando una gran nube que constituye casi totalmente el volumen del átomo. Los electrones no se encuentran alrededor del núcleo al azar, sino que se distribuyen en niveles de energía bien definidos conocidos con el nombre de orbitales. Cada orbital tiene una energía discreta, bien definida, lo que hace que los electrones sólo puedan ocupar ciertos niveles de energía y cambiar su estado tras la emisión de una cantidad de energía fija o un paquete de energía que se define como “cuanto”. De esta observación surge el término “cuantización de la energía”. De esta manera, la ubicación de cada electrón del átomo puede asociarse a un conjunto de cuatro números llamados números cuánticos. El número cuántico

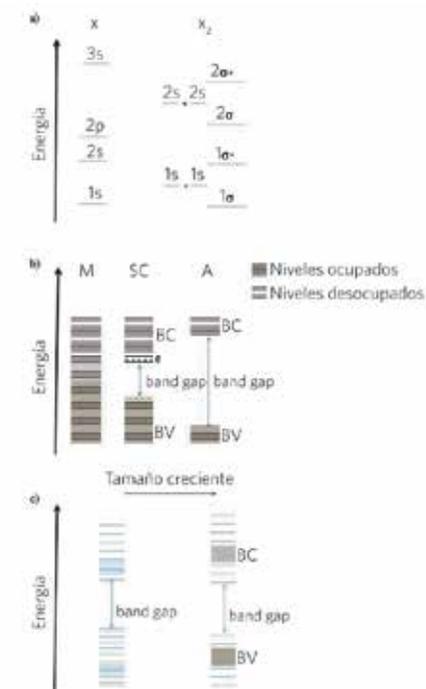
principal, designado por la letra "n" indica el nivel de energía (1, 2, 3, etc.); el número cuántico azimutal "l" indica el subnivel de energía (s, p, d, f); el número cuántico magnético "m_l" describe al orbital y el número cuántico de spin "m_s" señala el spin del electrón (ver Figura 3.1a). Muchas propiedades del átomo en particular y la materia en general están directamente asociadas a esta cuantización de los niveles de energía, cómo se retomará más adelante.

Otro concepto importante es el de molécula. Las moléculas se definen como una entidad compuesta por dos o más átomos unidos entre sí de forma específica. Cuando se quiere explicar la estructura electrónica de las moléculas aparece el concepto de orbital molecular. Del mismo modo que ocurre en los átomos, los electrones que forman parte de los enlaces químicos (electrones del nivel de valencia), y que mantienen juntos el conjunto de átomos, se encuentran distribuidos en estados de energía cuantizados u orbitales moleculares. Estos orbitales pueden describirse como combinaciones de los orbitales atómicos que cada átomo pone en juego para la formación del enlace. En la figura 3.1a se esquematiza la formación de orbitales moleculares para una molécula hipotética diatómica homonuclear (formada por dos átomos iguales), X₂.

En el caso de los sólidos, las moléculas y/o átomos se encuentran unidos en una estructura tridimensional que se extiende en el espacio. Aquí, el modelo de enlace que explica la distribución electrónica, está asociado al solapamiento o superposición de todos los orbitales atómicos o moleculares que forman la estructura. La enorme cantidad de átomos que forman el sólido implican una cantidad aún mayor de orbitales en la formación del enlace. Esto da lugar a una estructura de niveles de energía muy cercanos entre sí, que se comportan como si fuera un continuo de energía, llamada estructura de bandas. Dependiendo de cómo se acomoden los electrones en esas bandas podemos clasificar los sólidos de acuerdo con sus propiedades eléctricas como: conductores (metales), aislantes o semiconductores (ver Figura 3.1b). Los conductores presentan una estructura de bandas casi continua semiocupada de electrones. Esto le brinda la oportunidad a los electrones de moverse a lo largo de toda esta estructura, lo cual explica la conductividad de los metales. Los aislantes se caracterizan por tener dos bandas separadas por una brecha de energía que no puede ser ocupada por los electrones (no permitida) denominada "band gap". La banda inferior, llamada banda de valencia (BV), se encuentra completa de electrones y la banda de conducción (BC), vacía. Los electrones no pueden moverse en una banda llena y tampoco pueden acceder a la banda de conducción para hacerlo porque el band gap es muy grande. Como consecuencia de ello, los aislantes no conducen la electricidad. Una situación intermedia

ocurre con los semiconductores, donde el band gap es lo suficientemente pequeño como para que, a temperaturas ordinarias, algunos electrones puedan pasar a la banda de conducción generando huecos en la banda de valencia. Así puede haber conducción eléctrica en ambas bandas. Por otra parte, la conductividad de los semiconductores puede mejorarse agregando algunas pequeñas cantidades de otras sustancias, lo que se conoce como dopaje del semiconductor. En este caso estos átomos aportan bandas cercanas a la banda de conducción o valencia favoreciendo la conductividad eléctrica.

Figura 3.1: a) Niveles de energía cuantizados (orbitales) para átomo X y molécula diatómica X₂; b) Niveles de energía y estructura de bandas en sólidos (M: conductor, SC: semiconductor y A: aislante) y c) Niveles de energía discretos y estructura de bandas para nanomateriales.



Fuente: elaboración de la autora

Estructura electrónica de los nanomateriales

Hemos mencionado anteriormente que la estructura de un nanomaterial se encuentra a mitad de camino entre el mundo macroscópico y el cuántico. En el mundo macroscópico, un sólido posee una cantidad de átomos del orden del Número de Avogadro (10^{23} átomos), mientras que la cuántica se encarga del estudio de sistemas simples desde un átomo hasta un grupo de ellos formado moléculas simples. De esta manera, la estructura electrónica de los nanomateriales puede describirse como una situación intermedia entre la estructura de bandas de los sólidos y los niveles de energía bien definido de átomos o moléculas (ver Figura 3.1c). Esta estructura intermedia, puede explicarse, como un sistema de niveles con energías muy cercanas entre sí, que se van acercando a medida que aumenta el tamaño del nanomaterial. Si hablamos de pocos átomos o moléculas, no se llegan a definir una banda continua, sino una estructura de bandas discretas cercanas entre sí pero que no permiten la libertad de los electrones, lo que se conoce como confinamiento del electrón. El aumento del tamaño del nanomaterial se observa como la definición de un sistema de bandas angostas y niveles discretos con un band gap mucho mayor, dificultando la conducción. De esta explicación se desprende cómo algunas propiedades, como la conducción electrónica, dependerán del tamaño en un nanomaterial. Otro ejemplo lo constituyen las propiedades ópticas asociadas al color. Sabemos que el color está relacionado con la absorción o emisión de fotones de energía entre dos niveles de energía. El cambio en la estructura electrónica de los nanomateriales, en función de su tamaño, repercute en las propiedades ópticas, produciendo nanomateriales cuyo color, caracterizado por la diferencia de energía entre dos niveles energéticos, también depende del tamaño del nanomaterial.

En las secciones siguientes veremos cómo estas herramientas básicas nos permitirán relacionar las propiedades con la estructura del nanomaterial despojando a los nanomateriales, al menos parcialmente, de su misterio.

Nanopartículas: Cero dimensión en el mundo de los nanomateriales

Las nanopartículas son pequeñas estructuras formadas por algunos cientos de átomos que se encuentran entre el mundo macroscópico y el mundo molecular y cuyas dimensiones (al menos dos de ellas) están comprendidas en el rango de 1 a 100 nanómetros. La obtención de nanopartículas abarca una gran variedad de materiales como metales, cerámicos, polímeros, óxidos e incluso estructuras biológicas como las grasas (lípidos), y otros compuestos químicos de interés. En relación a su forma, pueden presentar una gran diversidad habiéndose obtenido nanopartículas esféricas, cuadradas, triangulares, ovaladas, cilindros, esferas huecas, entre otras.

Como ya se ha mencionado, en los nanomateriales en general y en las nanopartículas en particular, el material prácticamente es “todo superficie”. Por ejemplo, una nanopartícula hipotética¹ formada por 309 átomos metálicos tendría 162 átomos en su superficie, es decir un 52,4%. Esto hace que las nanopartículas sean muy inestables y tiendan a colapsar para formar estructuras de mayor tamaño, por lo que requieren ser obtenidas en un medio que las mantenga dispersas y estables. Las dispersiones de nanopartículas en un medio, generalmente líquido, pueden describirse como sistemas coloidales o coloides².

Los coloides se conocen desde la antigüedad y existe un marco teórico importante que ha permitido a los nanocientíficos utilizar estos conocimientos para avanzar notablemente en los procesos de síntesis y estabilización de las dispersiones de nanopartículas y analizar sus propiedades y comportamientos. Como se ha detallado en el Capítulo II (*Michael Faraday: un Visionario*), uno de los primeros trabajos completos de coloides fue publicado por el científico inglés Michael Faraday en 1857 (Faraday, M. 1857). El célebre científico se atrevió a asociar ciertas diferencias encontradas en dispersiones obtenidas en distintas condiciones, como color y estabilidad, con el tamaño de las partículas dispersas. En el Museo Británico de Ciencias se encuentra en exhibición un coloide estable de nanopartículas de oro que fuera preparado por Faraday entre 1856 y 1857.

1 Nanopartícula hipotética metálica con estructura cristalina cúbica centrada en las caras.

2 Coloides: Sistemas materiales formados por partículas que son lo suficientemente grandes como para estar disueltas en solución pero lo bastante pequeña como para permanecer suspendidas indefinidamente en un sistema de disolvente. Al igual que las soluciones, los coloides pueden ser gases, líquidos o sólidos. El diámetro de las partículas coloidales varía entre aproximadamente 1 a 200 nm.

La figura 3.2a-c muestra imágenes de Microscopía electrónica de transmisión (Transmission electron microscopy, TEM) de nanopartículas de Au estabilizadas en una suspensión que contiene grupos citratos en diferentes magnificaciones (Gentileza de la Dra. Cecilia Andrea Calderón³).

Obtención

Describiremos los aspectos más generales de tres grandes métodos para la obtención de nanopartículas: Método “Bottom-up”, Método “Top-down” y Síntesis por confinamiento.

El término “Top down” viene del inglés y significa de “arriba hacia abajo”, por lo tanto esta metodología consiste en obtener las nanopartículas a partir de un material de mayor tamaño, por ejemplo, a partir de la trituración o molienda del mismo.

El método “Bottom up” implica exactamente lo opuesto, es decir, ir de “abajo hacia arriba”. En este caso las nanopartículas se obtienen desde una solución o fase vapor que contiene moléculas o átomos que se van asociando para formar pequeños núcleos, que actúan como semillas, y que a partir de su crecimiento, llegarán al tamaño final de la nanopartícula. La clave de este método consiste en el control de las reacciones (químicas o físicas) de formación de las nanopartículas para lograr homogeneidad, ya sea en su tamaño o forma. Esta metodología es comúnmente empleada para sintetizar nanopartículas metálicas.

Por último, la síntesis por confinamiento consiste en la formación nanopartículas dentro de un espacio reducido, limitando el tamaño al lugar de crecimiento, es decir, confinándolo a ese sitio. Puede considerarse como un caso particular de Bottom-up, ya que, en última instancia, también se parte de precursores moleculares. Una metodología habitual consiste en utilizar una emulsión donde una fase acuosa se encuentra dispersa en un medio hidrofóbico (que no se mezcla con agua) formando pequeñas gotitas. En este caso, las nanopartículas se forman dentro de las gotas de agua que contienen las moléculas o átomos disueltos y que darán origen a las mismas. Otra metodología consiste en sintetizar por moldes, utilizando materiales porosos, donde las nanopartículas crecerán confinadas al tamaño del poro del material.

³ Se agradece la colaboración de la Dra. Andrea Cecilia Calderón (INFIQC-CONICET. Fac. de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba.) por ceder este material para su publicación. Más detalles de su investigación puede encontrarse en: Tesis Doctoral “Construcción de Nanoestructuras: Nanopartículas metálicas sobre superficies modificadas” (2011).

En cualquiera de los casos, Top-down, Bottom-up o síntesis por confinamiento, el tamaño y forma de las nanopartículas depende del método, del material que les dará origen y las condiciones experimentales. Es muy importante controlar todos esos parámetros para obtener un material homogéneo donde el tamaño y forma sea lo más definido y acotado posible. Del mismo modo, la reproducibilidad de la técnica es necesaria para la producción masiva y en serie requerida para cualquier aplicación comercial.

Propiedades

Como se mencionó anteriormente, el término nanopartículas comprende una gran variedad de estructuras de diferente forma, en un amplio intervalo de tamaño y de materiales muy diversos. Por este motivo, sus propiedades estarán relacionadas con el conjunto de características que tendrán debido a su tamaño, forma y composición. De esta observación se desprende, que hablar de propiedades de nanopartículas, requiere de sistemas en particular. En este caso, se analizará el efecto que tiene el cambio de tamaño y forma de nanopartículas metálicas y semiconductoras (quantum dots) en algunas de sus propiedades.

Nanopartículas metálicas: Un ejemplo gráfico de cómo las propiedades de los nanomateriales cambian con el tamaño y forma, lo constituyen las nanopartículas metálicas. En el caso particular del oro, las dispersiones de nanopartículas presentan una coloración anaranjada cuando éstas tienen dimensiones menores a 1nm. Con un aumento del tamaño de la nanopartícula, puede verse que, para nanopartículas de 3 a 20 nm, las dispersiones son de color rojo translúcido, entre 20 y 50 nm la tonalidad es violeta y se tornan más oscuras y turbias adquiriendo un color azul al acercarse a los 300nm. Por otra parte, el cambio de tamaño también trae aparejado cambios en otras propiedades como la conductividad eléctrica, encontrándose que una disminución de tamaño está asociada a la pérdida de la conductividad de las dispersiones. En cualquiera de estos casos, el cambio en las propiedades está asociado a las modificaciones de las estructuras electrónicas, como se explicó anteriormente en la sección *El origen de las propiedades extraordinarias*. Las razones prácticas para estudiar estos sistemas, se deben a sus importantes aplicaciones asociadas a la posibilidad de modificar el color de un material, modificando ligeramente su tamaño o forma permitiendo un diseño del material “a medida”.

Quantum dots: Los “quantum dots” son nanocristales de materiales semiconductores donde su nombre, que puede traducirse como *punto cuántico*, está asociado a la estructura electrónica de este material. En los puntos cuánticos, dicha

estructura presenta niveles de energía discretos, bien definidos, tal como si fuera un átomo, aunque esté formado por unos cientos o miles de ellos (ver niveles de energía discretos de la Figura 3.1c). Es por ello que también se los conoce como *átomos artificiales*. De esta manera, el tratamiento de sus propiedades ópticas y electrónicas, está vinculado con la cuántica, donde la conducción electrónica está confinada en las tres dimensiones. Una de las propiedades más curiosas de los quantum dots es su comportamiento óptico asociado a la estructura electrónica, la cual se modifica con cambios de tamaño del nanomaterial. Esto hace que un punto cuántico emita luz en una longitud de onda muy precisa, caracterizada por un determinado color y que al modificar su tamaño, cambie. Mientras más pequeño sea el punto cuántico, menor será la longitud de onda, con lo cual es posible diseñar puntos cuánticos a medida para obtener el color deseado. Algunas aplicaciones de quantum dots se describen en el Capítulo 4.

Nanopartículas en la naturaleza: liposomas

Los liposomas son estructuras biológicas, formadas por una o más capas de moléculas de grasas o lípidos, cuya función consiste en alojar en su interior ciertas moléculas (enzimas, hormonas, antígenos, material genético u otros), y que debido a su composición, forma y tamaño pueden ingresar a las células. De esta manera, se hace posible el acceso de las moléculas que transporta.

Dado su pequeño tamaño, que oscila entre los 50 y 200 nm aproximadamente, podrían considerarse como nanopartículas biológicas. Es por ello que la comunidad científica vinculada a la medicina, industria farmacéutica y cosmética, ha prestado mucha atención en ellos. Así, al utilizar los conocimientos de estas estructuras y el aporte de la nanotecnología se pueden conseguir liposomas sintéticos (obtenidos en laboratorios) y desarrollar un sinnúmero de aplicaciones que requieren optimizar el ingreso de ciertas especies, como medicamentos, a las células. En el Capítulo 4 se mencionan algunos ejemplos con mayor detalle.

Nanotubos de carbono: un carbono muy particular

El carbono es, sin lugar a dudas, un elemento químico único, ya sea por su capacidad de formar enlaces fuertes y múltiples con otros átomos de carbono, como con una gran variedad de otros elementos, formando moléculas simples y otras más complejas, que dan origen a la química orgánica. Esta ciencia, conocida

en principio como la química de los organismos vivos, estudia las singularidades de los enlaces y reacciones químicas que pueden experimentar estos compuestos y que dieron origen a la vida en la tierra. Aunque el carbono se encuentre en la naturaleza formando una infinidad de compuestos químicos, es posible encontrarlo como elemento químico en la forma de materiales muy diferentes entre sí, como diamante, grafito o carbón común.

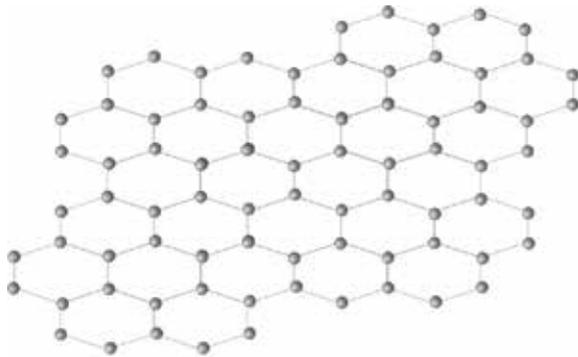
En estos días, la comunidad científica acuerda en considerar a los nanotubos, como una variedad alotrópica más del carbono. Es decir, una de las formas en la que el carbono se encuentra presente en la naturaleza, al igual que las más comunes que hemos mencionado anteriormente. Las primeras evidencias del descubrimiento de los nanotubos de carbono, está asociado a experimentos, en los que se producía la quema de material que contenía carbono (como grafito) y donde los nanotubos se encontraban como residuos, junto a otros compuestos inorgánicos de carbono. Sin embargo la química experimental tuvo que esperar muchos años en poder caracterizar estas "fibras" tan singulares.

Una forma gráfica de entender la estructura de los nanotubos de carbono, consiste en imaginar su formación a partir del enrollamiento de una lámina de grafeno. Al igual que si quisiéramos hacer un tubo a partir de una hoja de papel, podemos conseguirlo haciendo coincidir dos de sus lados paralelos o enrollando a partir de uno de sus extremos. Para una mejor comprensión, imaginemos que la hoja de papel tuviese un estampado de cuadrados rojos y blancos. En este caso notaríamos que dependiendo de la forma en que doblamos el papel, el tubo presentará un estampado cuadrado, con rombos o con algún diseño un poco distorsionado entre éstas dos. Del mismo modo, la forma reticular que presenta la lámina de grafeno, hace que los nanotubos puedan tener diferentes estructuras dependiendo de su enrollamiento, tal como se muestra en la Figura 3.2d. Este tipo de nanotubos, que presentan una única estructura cilíndrica, se conocen con el nombre de nanotubos de pared simple. Por otra parte, existen nanotubos de carbono cuya estructura consiste en cilindros concéntricos formando desde dos a muchas capas, éstos reciben el nombre de nanotubos de carbono de paredes múltiples (Figura 3.2e).

Los extremos de los nanotubos pueden estar cerrados o abiertos. Los cerrados presentan una estructura semiesférica similar a los cascos de una pelota de fútbol (Figura 3.2d). Los abiertos dejan expuestas uniones carbono-hidrógeno que son fácilmente modificables con la química orgánica y que le pueden conferir al nanotubo nuevas propiedades asociadas a esta modificación.

En relación a la longitud y el ancho de los nanotubos, éstos pueden cubrir un amplio rango dependiendo del tipo de nanotubo y de los métodos de obtención de los mismos. Para una nanotubo de simple pared se espera un ancho entre 0,4 y 2,5 nm con un valor típico de 1,4 nm y para el largo es posible obtener nanotubos en la escala de los micrómetros e incluso llegar a unos milímetros (Bharat Bhushan Editor 2004)

Figura 3.2



Fuente: <http://ciencianet.com.ar/507/sobre-la-pista-del-grafeno-en-argentina-efectos-electromec-nicos-en-la-nanoescala>

Grafeno

arreglo hexagonal de átomos de carbono, donde cada átomo de carbono con hibridación sp^2 está unido a 3 átomos de C, con un enlace doble C-C conjugado, es decir, el enlace doble oscila su posición dando lugar a una estructura aromática.

El grafeno en sí mismo es un nanomaterial bidimensional, donde los electrones están confinados en la dirección del espesor de la lámina pero no a lo largo de la estructura periódica, haciendo que este material conduzca la electricidad sólo en el sentido de extensión de la lámina.

Esto explica las diferentes propiedades eléctricas del diamante y el grafito. En el caso del diamante la estructura de enlaces covalentes, que se repiten en la conformación del cristal, da origen a sus propiedades no conductoras (aislante). Por otra parte el grafito, cuya estructura consiste en la superposición de láminas de grafeno, permite el movimiento de los electrones a lo largo de la lámina pero no entre láminas haciendo del material un conductor.

Obtención

Los métodos de obtención de los nanotubos de carbono comprenden un conjunto de métodos y técnicas experimentales complejas que van más allá de los contenidos de este libro. En términos generales, la mayoría de los métodos tienen en común la necesidad de emplear altas temperaturas (miles de grados Kelvin) y el uso de carbono grafito como fuente de carbono. Si bien los detalles experimentales no son objeto de nuestro interés en particular, es muy importante resaltar, que tanto la morfología como las propiedades, pueden diferir bastante según el método de preparación.

Dependiendo de las aplicaciones para las que se requieren los nanotubos de carbono, algunos métodos de obtención son de costo relativamente bajo, como en el caso de las fibras de nanotubos de carbono, mientras que son muy caros si se requiere mayor calidad y homogeneidad, como en el caso de los nanotubos de simple pared.

Aunque hablamos de nanotubos de carbono como si se tratase de una entidad o molécula, normalmente no se obtienen de manera aislada sino que, a menudo, el material está formando manojos, fibras o películas de nanotubos. Ésta característica pone nuevamente de manifiesto la gran variedad estructural que pueden presentar los nanotubos que, en conjunto, determinarían las propiedades específicas de su uso como nanomaterial. La Figura 3.2f presenta una imagen de Microscopía electrónica de barrido (scanning electron microscopy, SEM) de la estructura de fibras que presentan los nanotubos de carbono (Gentileza de la Dra. Fabiana A. Gutiérrez⁴).

Propiedades

Las propiedades que presentan los nanotubos de carbono dependen de su estructura, y ésta de cómo hayan sido obtenidos.

Una característica interesante de la estructura de los nanotubos, es la enorme superficie. En los de pared simple, todos los átomos están expuestos y aún si se encuentran formando fibras o estructuras más compactas, la mayoría de

4 Se agradece la colaboración de la Dra. Fabiana A. Gutiérrez (INFIQC-CONICET. Fac. de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba.) por ceder este material para su publicación. Más detalles de su investigación puede encontrarse en: F. A. Gutiérrez, M. D. Rubianes, G. A. Rivas (2012). Sensors and Actuators B 161, 191- 197. Copyright Elsevier B. V.

los ellos son accesibles. Lo mismo puede decirse de los nanotubos de paredes múltiples.

Otra característica importante que demuestra su gran versatilidad, y que determina muchas de sus propiedades, consiste en las uniones carbono-carbono de su estructura. Es sabido que los enlaces carbono-carbono constituyen el esqueleto de la Química Orgánica, permitiendo utilizar todas las herramientas de ésta disciplina, para funcionalizar⁵ su superficie con moléculas biológicas. Esto, sumado a la gran superficie expuesta, potencia su uso en aplicaciones biológicas. Un ejemplo, consiste en funcionalizar la superficie con una molécula capaz de identificar y con ello reconocer la presencia de un determinado virus, bacteria o sustancia que se encuentre en el cuerpo humano y producir una respuesta, actuando de este modo como sensores biológicos. Las grandes áreas favorecen una mayor superficie de contacto para producir muchas uniones con las moléculas biológicas y maximizar la señal del sensor pudiendo reconocer la presencia de cantidades muy pequeñas.

Para poner en evidencia la diversidad de propiedades que los nanotubos como materiales pueden ofrecer a la ciencia de materiales, mencionaremos sus extraordinarias propiedades mecánicas y únicas propiedades eléctricas. Los nanotubos de carbono son particularmente rígidos, incluso algunos, conocidos con el nombre de “nanotubos superduros”, presentan una dureza similar al diamante. Asimismo, poseen una gran flexibilidad y enorme resistencia, que los convierte en muy buenos materiales para ser utilizados en fibras o mejorar las propiedades mecánicas de otros materiales. En términos de la conductividad eléctrica por ejemplo, pueden tener conductividad muy alta o muy baja e incluso pasar entre un estado y otro al modificar o distorsionar su estructura. También es un conductor térmico excepcional siendo estables a temperaturas superiores a los 750°C en aire.

Nanotubos en la naturaleza

Como se mencionó anteriormente, los nanotubos de carbono se consideran una variedad alotrópica del carbono, ya que en ciertas condiciones, es una forma estable de encontrar al carbono “puro” en la naturaleza (sin formar parte de com-

5 Funcionalizar: consiste en modificar las características químicas de una molécula o material incorporando nuevas moléculas o grupos químicos. Se denomina funcionalización porque esta modificación otorga nuevas funciones es decir nuevos comportamientos físicos y/o químicos.

puestos químicos). Sin embargo, esto no significa que sea posible encontrar los nanotubos en minerales u otras fuentes naturales como si ocurre con el grafito o el diamante, sino que en determinadas condiciones experimentales es posible producir nanotubos de carbono. Tanto el diamante, como el grafito, son variedades más estables del carbono. En el caso del diamante esta estabilidad está asociada a su estructura tridimensional que consiste en una red cristalina que se repite en el espacio formando cristales macroscópicos. El grafito en cambio, presenta una estructura de capas bidimensionales de grafeno, unas sobre otras. Ya se ha explicado que en los nanotubos de carbono, casi todos los átomos forman parte de la superficie y aunque esto le otorgue sus singulares propiedades que lo caracterizan como nanomaterial, hace que energéticamente, esta estructura, sea menos estable y no se encuentre de forma espontánea en la naturaleza.

Películas nanométricas: recubrimientos en la nanoescala

Las películas nanométricas consisten en capas muy delgadas de átomos o moléculas que se unen a la superficie mediante una unión química o física fuerte. Existe un gran número de recubrimientos nanométricos que son muy importantes desde el punto tecnológico. Entre ellos podemos mencionar la posibilidad de generar películas nanométricas depositando metales, materiales semiconductores o moléculas orgánicas utilizando una enorme variedad de métodos. Esto da origen a importantes aplicaciones tanto en industrias tradicionales como la metalúrgica, por ejemplo como inhibidores de la corrosión⁶, o en otras más actuales como la industria del hardware, por ejemplo en la obtención de componentes electrónicos. Esta aplicación está relacionada con la electrónica molecular que, cómo se explicó en la sección “*La miniaturización: una puerta al mundo nano (Cap. II)*”, surge con la necesidad disminuir el tamaño de los componentes electrónicos. Para ello, se estudian las capacidades de moléculas individuales o películas nanométricas para ser utilizadas como memorias, rectificadores, interruptores, cables moleculares, sensores químicos, etc.

Si bien hay varios tipos de películas nanométricas, es este capítulo se mencionaran dos ejemplos concretos: las monocapas autoensambladas y las películas obtenidas en condiciones de vacío. El término monocapas autoensambladas

6 corrosión: Proceso por el cual las estructuras metálicas son deterioradas gradualmente debido a la oxidación (reactividad del metal).

revela dos características fundamentales de éstas películas: Monocapa se refiere a que el espesor de la película es de una capa simple de moléculas unidas a la superficie. Autoensambladas indica que la formación de esta película está asociada a un proceso donde las moléculas se organizan a sí mismas (autoensamblan o autoorganizan) interactuando en forma lateral con las moléculas vecinas, formando estructuras muy compactas y de gran estabilidad. Este proceso puede imaginarse como la organización de un ejército en el frente de batalla. Los soldados se agrupan y organizan en líneas y bloques muy ordenados y esta estructuración puede cambiar con las particularidades del terreno, si es un valle, sobre una ladera o una trinchera, las tropas se ordenan de manera de optimizar sus propias capacidades al terreno. En el proceso de autoensamblado, las superficies que se utilizan para ser modificadas aunque sean extremadamente lisas no son perfectas y las moléculas también sufren distintas estructuraciones en los defectos de la superficie.

Existe un gran número de monocapas de distinta naturaleza dependiendo de la superficie, las condiciones experimentales y las moléculas. En relación a las moléculas, éstas tendrán por lo general tres partes bien determinadas por su función: grupo de anclaje, cuerpo de la molécula y grupo terminal. El grupo de anclaje es el extremo de la molécula que se une a la superficie por lo cual deberá tener una alta afinidad con ella para formar una unión física o química fuerte. El cuerpo es la parte media de la molécula que promueve las interacciones laterales con los vecinos y favorece el proceso de autoorganización que hemos explicado. Por último, el extremo de la molécula que no se une a la superficie es de gran importancia, porque en última instancia es el que queda expuesto al ambiente y quien determinará muchas de las propiedades de la superficie modificada.

Para ejemplificar la versatilidad de las monocapas como nanomateriales, analizaremos el caso de películas autoensambladas de alcanotioles sobre oro. Los alcanotioles son moléculas lineales formadas por una cadena de átomos de carbono (un alcano) modificada en uno de sus extremos por una unión carbono-azufre (grupo tiol). En este caso, el azufre del alcanotiol interactúa fuertemente con la superficie de oro formándose un enlace químico oro-azufre quedando la molécula unida a la superficie por uno de sus extremos. Progresivamente, las moléculas se van uniendo a la superficie por su extremo azufrado interactuando con las moléculas de alcanotioles vecinas mediante interacción lateral de las cadenas

carbonadas entre sí, conocidas como interacciones de Van der Waals⁷. De esta manera se ve favorecida la proximidad de las moléculas obteniéndose películas muy compactas y muy estables. En la Figura 3.2g se presenta la estructura de una monocapa de un alcanoditiol sobre oro. El alcanoditiol presenta dos grupos tiol (SH) en ambos extremos de la molécula (Gentileza de la Dra. Calderón C. A.). Uno de los extremos se une con la superficie de oro mientras que el otro queda expuesto y puede formar enlaces ditiol (S-S) con una molécula vecina. La estructura atómica de este tipo de películas pueden observarse en la imagen de Microscopía de efecto túnel (scanning tunnelling microscopy, STM) de la Figura 3.2h obtenida para 1,8 alcanotiol sobre oro (Esplandiu M.J. et al (2006)).

Obtención

Las películas nanométricas pueden obtenerse a partir de diferentes métodos. En el caso particular de las monocapas autoensambladas que hemos tomado como ejemplo, la metodología consiste en sumergir la superficie a modificar en una solución que contiene disueltas las moléculas que se unirán a la superficie. Éste método es muy versátil debido a la gran variedad de condiciones que pueden ser modificadas para producir películas de distinta naturaleza además de ser menos costosas que otros métodos que incluyen condiciones extremas de vacío (Ver *Otras películas nanométricas: Películas obtenidas en fase vapor*).

Propiedades

Las propiedades de las películas nanométricas dependen tanto de las condiciones experimentales a partir de cómo se produjo la modificación, como de la superficie y las moléculas que las constituyen.

Las monocapas autoensambladas, obtenidas mediante el método de fase líquida, presentan un alto grado de compactación y estabilidad, debido a que durante el proceso de autoensamblado, las moléculas pueden acomodarse con mayor libertad, uniéndose a la superficie y volviendo a la solución hasta generar

⁷ interacciones de Van der Waals: Son fuerzas entre moléculas o entre distintas partes de unas mismas moléculas de naturaleza, repulsivas o atractivas y relativamente débiles (fuerzas de corto alcance) comparadas con enlaces. Entre ellas se encuentran las fuerzas dipolo permanente-dipolo permanente (fuerzas de Keesom o interacción dipolo-dipolo), fuerzas dipolo permanente-dipolo inducido (fuerzas de Debye) y fuerzas dipolo inducido instantáneo-dipolo inducido (fuerzas de dispersión de London).

un ordenamiento mayor a lo largo del tiempo.

Las moléculas que modifican la superficie determinan en gran parte sus propiedades. Por ejemplo, se han utilizado moléculas que forman películas aislantes que no permiten conducir la electricidad para inhibir el proceso de corrosión natural de algunos metales reactivos como cobre, hierro o níquel. En estos casos es muy importante controlar las condiciones experimentales y el grado de perfección de la película para evitar que, durante el proceso de formación de la monocapa y luego del mismo, la superficie metálica quede expuesta y se oxide en contacto con el oxígeno. Otro ejemplo lo constituye el uso de los grupos terminales para conferir propiedades deseables en una superficie. Es posible utilizar moléculas donde el grupo terminal tiene gran afinidad hacia el agua (grupo hidrofílico), logrando que la superficie modificada presente buenas propiedades de mojado. Por el contrario si la molécula tiene un grupo terminal hidrofóbico (grupo que no es afín al agua), la superficie no se moja, es decir, repele el agua. Para ampliar el concepto de superficies hidrofílicas e hidrofóbicas utilizaremos un ejemplo de una posible aplicación de películas nanométricas. Cuando un auto circula bajo la lluvia, el conductor presenta dificultades en su visión como consecuencia de las gotas de agua que se corren por el parabrisas. Supongamos que es posible modificar la superficie vidriada con una monocapa cuyo extremo terminal es un grupo hidrofílico. Debido a la gran afinidad de la monocapa por el agua, cuando las gotas golpeen el parabrisas se romperán y formarán una delgada película sobre el parabrisas en lugar de las molestas gotas. La visión a través de un vidrio cubierto por una capa uniforme de agua es mucho mejor que en el caso de las gotas que distorsionan la imagen. De esta manera, queda en evidencia cómo una película nanométrica puede mejorar las propiedades del parabrisas.

Por último, la superficie es de gran importancia ya que constituye el material base que se desea modificar, para cambiar sus propiedades en búsqueda de alguna aplicación en particular. Se pueden utilizar superficies metálicas, no metálicas, óxidos, vidrios, entre otras.

Películas nanométricas en la naturaleza

En esta sección analizaremos algunos recubrimientos nanométricos que se encuentran en la naturaleza, analizando el origen de sus curiosas propiedades.

Los geckos o salamandras son pequeños animalitos, similares a una lagartija, cuyas patas presentan una singular adherencia a gran cantidad de superficies. Esto les permite correr y trepar sobre superficies verticales y horizontales con

características muy diversas (rugosas, lisas, limpias, sucias, mojadas, secas, etc.). Desde fines del siglo pasado, científicos de todo el mundo han estudiado esta habilidad de los geckos encontrando su explicación en la nanociencia. La extraordinaria fuerza que da origen a la enorme adherencia de sus patas ha sido asociada a los millones de fibras que las recubren, donde cada fibra consiste en un arreglo de 100 a 1000 pelitos en forma de espátulas de 100 nanómetros de diámetro y 200 nm de largo. Tanto el tamaño, como la forma, son determinantes para esta propiedad tan particular, permitiendo soportar un peso de varios cientos de veces el peso de su propio cuerpo, superando cualquier pegamento conocido. Éstas fuerzas de interacción entre los pelos nanométricos y las superficies (fuerzas de Van der Waals) sólo son importantes en escalas muy pequeñas, por ello sólo es posible obtenerlas con estructuras nanométricas. En este caso las fuerzas de Van der Waals actúan no solo lateralmente entre pelitos vecinos como en las monocapas en general, sino que también puede interactuar con átomos y moléculas que forman la superficie por donde el gecko se desplaza. Estos estudios han inspirado numerosos proyectos de investigación en todo el mundo, por ejemplo, el desarrollo de súper pegamentos buscando importantes adherencias. El origen del Proyecto Gecko de la Universidad de Berkeley puede verse en el portal <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~ronf/Gecko/>.

El loto es una planta acuífera que vive en terrenos pantanosos y que curiosamente presenta una impecable apariencia. Esto se debe a que presenta una cera que recubre sus hojas y le otorga una estructura rugosa en la nanoescala. De esta manera, las gotas de agua cuyo tamaño es macroscópico no pueden interactuar íntimamente con la superficie para mojarla y se escurren fácilmente barriendo otras suciedades. Este mecanismo autolimpiante, hace de las hojas de loto, superficies altamente hidrofóbicas. Como el lector podrá imaginarse, esta interesante propiedad atrae la atención de la comunidad científica e industrial para un gran número de aplicaciones. Una de ellas es la industria textil, que encuentra en las hojas de loto una interesante promesa en el desarrollo de "telas inteligentes" con la capacidad de autolimpiarse.

Otras películas nanométricas: Películas obtenidas en fase vapor

El método de obtención de películas nanométricas en fase vapor consiste en evaporar las moléculas dentro de una cámara que contiene la superficie a recubrir. Por lo general, esta metodología es costosa y se requiere de condiciones experimentales muy estrictas ya que, para evitar situaciones de contaminación,

la cámara debe estar en condiciones de vacío para eliminar todo el aire y gases que puedan estar presentes.

La producción de películas nanométricas para aplicaciones tecnológicas requiere un estricto control del espesor y cubrimiento. Cuando se utilizan películas nanométricas para inhibir la corrosión, se requiere que el cubrimiento sea alto, es decir que la película ocupe toda la superficie. De esta manera, el metal no queda expuesto y es posible evitar su oxidación. Otras aplicaciones requieren que la película cubra ciertas partes de la superficie y deje otras libres generando un patrón, por ejemplo, en la impresión de circuitos electrónicos. En este sentido, las películas nanométricas obtenidas en estas condiciones tienen la particularidad que, si se controla la cantidad de moléculas evaporadas, se pueden obtener películas con distintas estructuras y cubrimiento. Por lo general, concentraciones más elevadas producirán películas más compactas y estables mientras que utilizando concentraciones más bajas se pueden producir modificaciones más selectivas con sitios cubiertos y sitios descubiertos. De esta manera, la monocapa puede modificar la superficie de manera controlada “decorando” la misma. Este tipo de modificaciones se conoce con el nombre de arquitectura molecular y constituye un claro ejemplo de cómo es posible en Nanotecnología manipular la superficie “a medida” en la nanoescala.

Estos métodos de obtención de películas nanométricas tienen un gran impacto tecnológico ya que, por ejemplo, constituyen el corazón de la industria electrónica moderna. Por otra parte, la obtención de éste tipo de películas obtenidas de la fase vapor es fundamental en aplicaciones como la magnetorresistencia gigante, efecto que se usa en el funcionamiento de las cabezas lectoras de los discos rígidos.

Otros nanomateriales de interés

Nanoalambres: el conductor nanométrico

Los nanoalambres han capturado la atención de los nanotecnólogos ya que constituyen un material de enorme importancia en la miniaturización de los componentes electrónicos. Esta aplicación requiere la obtención de componentes cada vez más pequeños, por ejemplo para obtener mayor capacidad en las memorias de las computadoras y almacenarlas en un tamaño cada vez más reducido. En este sentido, los nanoalambres son de gran importancia ya que constituyen

el medio por el cual se transmite la energía eléctrica, empleando “idealmente” una hilera de átomos.

Desde el punto de vista estructural consisten en pequeñas fibras metálicas que pueden conducir la electricidad a través de ellas. El método más utilizado para su obtención es el de moldeo, utilizado también para la síntesis de nanopartículas, como se ha mencionado anteriormente. En este caso se utiliza un material con huecos o poros cilíndricos donde es posible depositar el material elegido para la fabricación del nanoalambre, obteniéndose una estructura cuyo tamaño y forma dependerán de las características del molde. En la Figura 3.2i se presenta una imagen obtenida mediante Microscopía electrónica de barrido (Scanning Electron Microscopy, SEM) de un alineamiento paralelo de nanoalambres de ZnO. Estos materiales presentan un diámetro entre 20 nm y 150 nm y fueron sintetizados para ser empleados en aplicaciones láser (Dresselhaus M. S. et al 2004, Huang, M. H. 2001).

Materiales nanoporosos

Los materiales nanoporosos consisten en materiales muy diversos (óxidos, polímeros, arcillas, entre otros) cuya característica principal es la de presentar una estructura con huecos o poros de dimensiones nanométricas. Su estructura es muy atractiva, ya que presenta características muy preciadas en la ciencia de materiales. Por un lado, éstos materiales tienen una enorme superficie de contacto, siendo muy prometedoras en el área de catalizadores donde la eficiencia de los mismos está directamente asociada a la superficie expuesta. Además pueden actuar como filtros selectivos dejando pasar a través del material ciertas moléculas o estructuras controlando el tamaño. Por otra parte, es posible funcionalizar la superficie de los poros para que sean capaces de reconocer e interactuar con ciertos grupos funcionales o compuestos químicos de interés otorgando mayor especificidad al poro. Dado su tamaño nanométrico puede utilizarse para sintetizar nanoestructuras, como nanoalambres o nanopartículas, de manera reproducible (síntesis por confinamiento). La figura 3.2j se presenta una micrografía de microscopía electrónica de barrido (SEM) donde puede verse la estructura de un

material nanoporoso de TiO (Gentileza del Dr. Omar E. Linares Pérez⁸). En este caso los nanoporos presentan una distribución estrecha de canales con un diámetro promedio de 80 nm que permite el tránsito de especies (moléculas, iones, electrones, etc.) por su interior. Este tipo de material es ampliamente estudiado por sus potenciales aplicaciones en sistemas biomedicinales, de fotocatalisis, de conversión de energía solar, entre otras. En el capítulo 4 se presentarán algunos ejemplos de aplicaciones de materiales nanoporosos.

Nanoestructuras en materiales convencionales

Aunque hablamos de nanomateriales como nuevas estructuras capaces de producir materiales y métodos con propiedades diferentes a los materiales convencionales, de ninguna manera podemos pensar que esta tecnología viene a desplazarlos. Por el contrario, la nanotecnología se abre camino en la producción de nuevos materiales, no cómo una opción diferente, sino a través de la incorporación de las nuevas nanoestructuras obtenidas modificando materiales convencionales, para mejorar sus propiedades. El diseño de materiales a medida obtenidos a partir del control de las propiedades en la nanoescala forma parte de la actualidad del mundo nano que ya convive en nuestras vidas. Científicos y Tecnólogos dirigen sus investigaciones en este sentido trabajando en materiales más complejos que mezclan los aportes de los materiales convencionales y las capacidades extraordinarias de los nanomateriales. La Figura 3.2 k-m) presenta imágenes de Microscopía TEM-SEM de micropartículas de SiO “decoradas” con nanopartículas de plata en distintas magnificaciones (Gentileza del Dr. Manuel A. Pérez⁹). Con el aumento de dicha magnificación pueden observarse claramente la presencia de las nanopartículas sobre la superficie de la micropartícula de SiO (Fig. 3.2l) y luego la resolución atómica de la nanopartícula de plata (Fig. 3.2m).

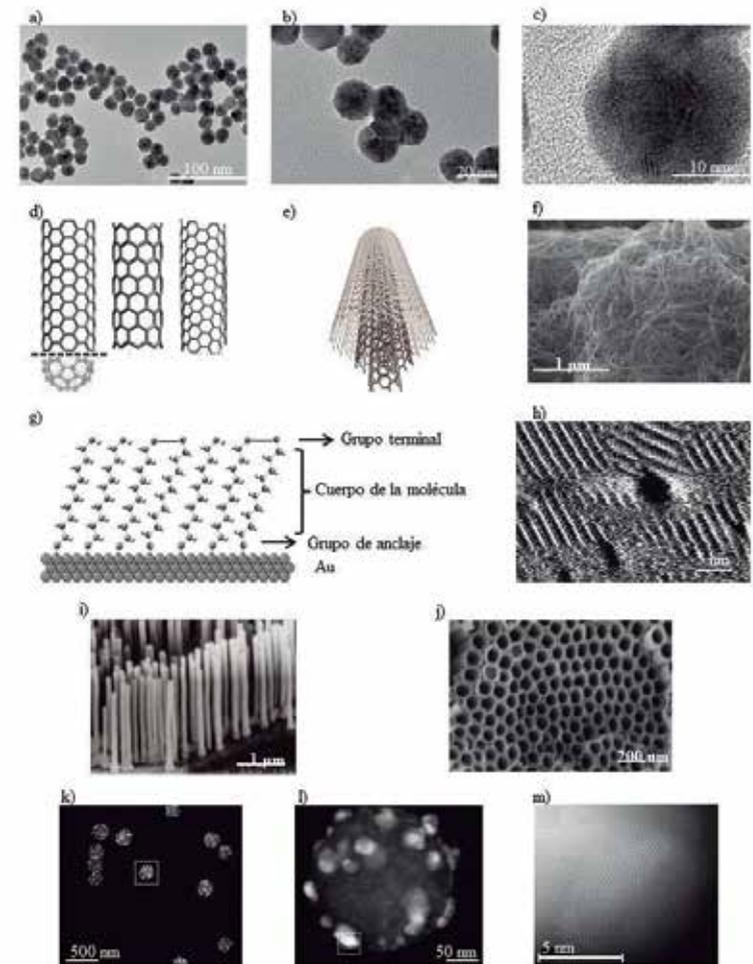
En el capítulo IV y V se presenta una gran variedad de aplicaciones de nanomateriales empleados y comercializados en la actualidad como así también

8 Se agradece la colaboración del Dr. Omar E. Linares Pérez (INFIQC-CONICET. Fac. de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba.) por ceder este material para su publicación. Más detalles de su investigación puede encontrarse en: D. P. Oyarzún, R. Córdoba, O. E. Linares Pérez, E. Muñoz, R. Henríquez, M. López Teijelo, H. Gómez (2011). *Journal of Solid-State Electrochemistry J. Solid State Electrochem* 15, 2265-2275. Copyright Springer-Verlag..

9 Se agradece la colaboración del Dr. Manuel A. (INFIQC-CONICET. Fac. de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba.) por ceder este material inédito para su publicación. Investigación conjunta del Dr. Manuel A, Pérez y Eduardo Coronado.

aquellos materiales que prometen cambiar nuestras vidas.

Figura 3.3 Nanomateriales: a-c) Imágenes TEM de Nanopartículas de Au3; d) Estructura de Nanotubos de pared simple, e) Estructura de Nanotubo de pared múltiple, f) Imágenes SEM de Nanotubos de C4; g) Estructura de monocapa de ditiolos sobre Au, h) Imagen STM de monocapa de 1,8 octanoditiol sobre Au; i) Micrografía SEM de Nanoalambres de ZnO; j) Micrografía SEM de TiO nanoporoso8; k-m) Micropartículas de SiO2



Fuente: 3.3 a-c: Gentileza de la Dra. Cecilia Andrea Calderón. 3.3.f: Gentileza de la Dra. Fabiana A. Gutiérrez.

CAPÍTULO IV

Nanomateriales: aplicaciones actuales

Alicia E. Seferian

¡Qué complejo e inabarcable a la vez resulta profundizar en las vastísimas aplicaciones de los nanomateriales! Podríamos decir más emparentados con la ciencia ficción que con la realidad. Según vimos en los capítulos anteriores, el comportamiento de nanopartículas diseñadas a partir de un material no es parecido ni mucho menos, al comportamiento habitual (macroscópico) de aquel que lo originó aunque no haya sucedido un cambio químico.

¿Se pueden fabricar “nanoenvases” que transporten al interior de nuestro cuerpo formulaciones cosméticas y medicinas? Podrás profundizar en ello en las secciones referidas a liposomas y formulaciones cosméticas así como en quitosanos y transporte de medicinas. Si te sorprenden las pantallas táctiles, seguramente suceda lo mismo con los “alambre invisibles” que la forman.

Imagina un neurocirujano que debe asegurarse de extraer un quiste en el cerebro y ¡el tejido a extirpar se ilumina! ¿Puedes imaginarte un tumor cerebral eliminado desde su interior por medio de calor?, también podrás profundizar estas cuestiones en el presente capítulo.

¿Algún familiar o amigo con diabetes?, seguramente te habrás preguntado cómo un aparato del tamaño de un reloj puede indicarte el nivel de glucosa en sangre; profundizaremos el tema en la sección correspondiente a nanosensores.

Por otra parte te será de utilidad incursionar en algunos principios básicos de cada una de las temáticas involucradas, a fin de poder comprender el “qué” y “cómo” de estos nuevos productos tecnológicos.

El efecto deseado en el sitio justo: nanosferas de liposomas y quitosanos.

Transportadores nanoscópicos de formulaciones cosméticas

Liposomas

Probablemente has escuchado en las publicidades de cremas rejuvenecedoras, términos como “nanoesferas de liposomas”. Ahora bien: ¿Qué son los liposomas? ¿Qué función cumplen en las formulaciones?

Un tema muy importante en cosmética, es el que tiene que ver con el transporte de principios activos (sustancias que producen el efecto deseado)- hasta el sitio que la requiere y por otra parte, que su liberación se logre gradualmente. El transporte del principio activo puede facilitarse mediante productos que permitan confinar la sustancia que interesa transportar. Por ejemplo, hacia la epidermis como es el caso de una crema antiarrugas. Este tipo de “facilitadores” se denominan vectores.

Cabe destacar que desde 1986 existen formulaciones anti-edad como cremas, geles e hidrogeles que transportan liposomas, y son producidas por reconocidas marcas como Lancome (de L’Oreal) y Christian Dior, entre otras.

Los liposomas, uno de los vectores más usados en cosmética, son pequeñas esferas de tamaño nanométrico conformadas por fosfolípidos. Cada unidad de fosfolípido está compuesta por una molécula de *glicerol* (propoanotriol) que reaccionó con dos moléculas de ácido graso y una de ácido fosfórico. Las reacciones químicas que se producen entre ácidos orgánicos e inorgánicos oxigenados que se combina con cualquier alcohol, generan ésteres. Las grasas son un buen ejemplo de este tipo de sustancias.

Este tipo de moléculas presentan un comportamiento particular que les permite interactuar tanto en aceites u otros solventes orgánicos no polares así como en solventes polares como el caso del agua. A este tipo de compuestos se los denomina *anfipáticos*, lo cual significa que uno de sus extremos es soluble en sustancias polares como el agua, es decir es hidrofílico; mientras que su otro extremo formado por largas cadenas de carbono, se disuelve en sustancias hidrofóbicas como benceno, tetracloruro de carbono, solventes orgánicos habituales en un laboratorio.

Los fosfolípidos pueden agruparse formando pequeños sacos esféricos de una o múltiples capas. ¿Cómo es posible? En un primer momento se prepara una suspensión de fosfolípidos (fase dispersa) en un solvente orgánico (fase dispersante). Posteriormente se sustituye dicho solvente por uno polar, como por ejemplo, el agua mediante evaporación o dilución. Este cambio en la suspensión provoca una reorganización de los fosfolípidos que se atraen entre sí y forman una bicapa lipídica (es decir una doble fila de fosfolípidos agrupados) cuyas cadenas hidrocarbonadas se enfrentan entre sí, mientras que los extremos polares orientados hacia el interior y exterior del liposoma, interactúan con el agua, como podemos observar en la Figura 4.1 (A)

Es posible imaginar a los liposomas como partículas nanométricas, de entre 0,1 micrones a 500 nanómetros de diámetro¹, dispersas en un solvente que en su interior aloja, a modo de pequeño recipiente, la formulación que se desea ingresar a las capas más profundas de la piel.

Para generar estos “pequeños contenedores” se diseñaron diversos métodos que permiten obtener vesículas de diferentes tamaños.

Sin embargo, desde hace algunos años, la investigación se centró en el diseño de nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) debido entre otras cuestiones a que los liposomas poseen ciertos inconvenientes, entre ellos la inestabilidad en la emulsión, lo cual implica la pérdida del principio activo encapsulado. Podemos comparar esta situación con un terrón de azúcar relleno con chocolate; si se lo coloca en agua, se disuelve y libera el contenido ¿Cuál es la diferencia entre los liposomas y las nanopartículas lipídicas?, las nanopartículas lipídicas poseen un núcleo sólido que facilita la disolución de fármacos lipofílicos, mayor estabilidad y un tamaño de un tamaño entre 1000 nm y 1nm.

¿Cómo ingresa el producto antiarrugas a la piel? Se presentan dos situaciones de importancia que facilitan el ingreso de las nanopartículas a la piel, una de ellas es que los liposomas poseen cierta similitud con la membrana celular por cuanto se puede hablar de una “fusión” del mismo en la membrana celular y una posterior fagocitosis² por medio de los *queratinocitos*, una de las células epiteliales que se hallan en mayor proporción.

1 Para que tengas una idea del tamaño, un glóbulo rojo que puede verse con un microscopio óptico posee un diámetro de 10.000 nm.

2 Se trata de un proceso por el cual algunas células rodean alguna partícula a partir de una deformación elástica y la introducen de este modo al interior del citoplasma.

Otra forma de ingresar los liposomas, a los estratos profundos de la piel, tiene que ver con el pasaje a través de los espacios intercelulares o bien a partir de los *anexos cutáneos* como los folículos pilosos y las glándulas sudoríparas, tal lo refleja la figura 4.1 (B)

Dentro de las aplicaciones actuales de liposomas en dermocosmética, podemos citar, lociones limpiadoras con propiedades antibacterianas, maquillajes, champúes, tratamientos antiarrugas, sombras de ojos, acondicionadores capilares, barras de labios, repelentes de insectos y desinfectantes.

Un estudio en una emulsión que contiene una fase dispersa de NLS con óxido de titanio³, empleado como protector solar, permitió establecer la efectividad del ingrediente activo luego de cuatro horas. Ello se debe a la gradual liberación del producto desde las nanopartículas, que permite reducir el número de aplicaciones sin dejar la piel expuesta a la radiación. Por otra parte, la encapsulación del óxido vuelve al protector transparente y más atractivo para su uso, debido a que en las formulaciones tradicionales, el dióxido de titanio se dispersa en materia grasa. (Pereira dos Santos, 2012). Actualmente podemos encontrar en el mercado protectores solares (también denominados *fotoprotectores*), como es el caso de la marca Beleroma de Estados Unidos y México.

Algunos investigadores presentan ciertos reparos con respecto al uso de estos productos debido a que dicho óxido no es una sustancia biodegradable, lo que podría generar cierta toxicidad. Sin embargo estudios de *permeación cutánea* han demostrado que estas nanopartículas que contienen óxido de titanio no llegan a los estratos más profundos de la piel. (Prow *et al*, 2011 citado en Pereira dos Santos, 2012)

El laboratorio *Novartis*, ha producido un protector solar que supera a productos similares en el mercado a partir del encapsulado del principio activo en nanopartículas y prácticamente invisible. Se trata de un filtro órgano-mineral (formado por biomoléculas patentadas como *Tinosorb*, más pantallas minerales (óxido de zinc y dióxido de titanio) que generan una protección de amplio espectro con respecto a las diferentes radiaciones UV. La marca *Avene* ya emplea esta formulación en sus productos.

Figura 4.1



Fuente: Figura 4.1 (A): extraída de www.world Erlenmeyer.blogspot.com.ar entrada del 12 de marzo de 2013. Figura 4.1 (B): extraída de artículo citado en bibliografía de Pereira Dos Santos (2012) pág. 27.

Quitosan para el transporte de principios activos en medicina

Los quitosanos son polímeros biológicos que se producen a partir de los caparazones de crustáceos como el langostino y la langosta, conformados por quitina. Son biopolímeros solubles en agua que pueden formar: películas, hidrogeles⁴, andamios porosos, fibras y esencialmente nanopartículas en condiciones especiales. La presencia de grupos funcionales polares facilita su gran afinidad por diversas macromoléculas terapéuticas, como la insulina⁵, heparina⁶(anticoagulante), que también poseen ciertos grupos funcionales polares.

El tamaño de las partículas de quitosano obtenidas varía entre 100 a 350 nm y poseen una adecuada interacción entre diversos epitelios debido a las características que se comentaron anteriormente.

Las nanopartículas de quitosanos, protegen de la degradación los principios activos que transportan y de las membranas mucosas que deben traspasar, a fin de que ingrese el medicamento al organismo. Cuando se hace referencia a membranas mucosas se consideran las membranas nasales, la mucosa de la boca, referida a la vía oral y la vía ocular que involucra a la mucosa del ojo. (Goycoolea, Remuñán-López y Alonso, 2009)

4 Geles que capturan el agua en su interior.

5 Hormona secretada por el páncreas que interviene en el metabolismo de los carbohidratos.

6 Cadena de polisacáridos de acción anticoagulante que se halla en forma natural en pulmones, hígado y piel.

3 El óxido de titanio y el óxido de zinc se emplean en formulaciones protectoras de los rayos UV ya que reflejan dichas radiaciones e impiden el daño celular debido a su elevada energía.

Una buena noticia para los pacientes insulino dependientes, que requieren inyectarse diariamente, es que en un tiempo podrán incorporar la hormona por inhalación. El laboratorio Mann Kind lanzará próximamente al mercado, un producto que permite administrar insulina protegida en nanopartículas de quitosanos. La medicación se administra mediante un dispositivo especial que permite su pulverización a fin de poder inhalar polvo seco a través de la boca (similar a los broncodilatadores empleados para el asma) de manera tal que ingrese a los pulmones y de allí al torrente sanguíneo.

El producto está indicado para diabetes del tipo 1 y 2. La diabetes tipo 1 requiere administración de insulina inyectable ya que el páncreas no produce la hormona, mientras que la tipo 2, en la cual el organismo no responde adecuadamente a la insulina liberada por el páncreas.

Nanopartículas y nanotubos de plata: usos en medicina y electrónica

Plata coloidal

Las propiedades antisépticas de la plata se conocían desde la antigüedad, ya que los griegos utilizaban utensilios de cocina realizados en plata y conservaban el agua para beber en jarras de este metal, que evita la proliferación de hongos y bacterias. Por otra parte, los colonizadores norteamericanos agregaban un dólar de plata a los recipientes con leche para evitar su descomposición.

Los coloides de plata se han empleado desde 1900 como un efectivo germicida⁷ en diversos tratamientos médicos. En la actualidad, se sabe que la plata actúa sobre enzimas bacterianas involucradas en la respiración celular. Las nanopartículas se adhieren a la superficie de la membrana celular del microorganismo, alterando su permeabilidad; esta acción, lo que provoca su destrucción. (Leyva Gómez, 2013).

Algunas nanopartículas de plata interactúan con las proteínas que contienen grupos *sulfidrilo* (S-H) y luego en el interior del microorganismo se unen a los grupos fosfato del ADN, lo que altera su metabolismo y le provoca la muerte

7 Sustancia que elimina microorganismos.

(Laitón Cruz, 2012). Cuando hacemos referencia a las interacciones, atracciones electrostáticas similares a las que se producen cuando luego de peinarnos y acercar el peine a trocitos de papel, observamos cómo se adhieren a su superficie.

En la actualidad, la empresa Nanosilver⁸, puede obtener coloides de nanopartículas de plata, formadas por átomos del metal de entre 3 a 5 nanómetros, cuya fase dispersante es solamente agua destilada, a partir de elevados voltajes. Otro método para obtener nanopartículas de plata, emplea nitrato de plata y un agente reductor. En este caso la *dimetilformamida* (DMF) que posee un grupo funcional aldehído⁹ (similar a la conocida reacción de *Tollens* de formación de un espejo de plata para reconocer azúcares reductores.) En otras palabras, una sal, el nitrato de plata se halla disuelta en agua en forma de iones, especies químicas con carga. En presencia de la DMF, esta sustancia provoca que la plata ionizada se transforme en plata metálica, sin carga, proceso que se denomina reducción. Actualmente se comercializan diversos objetos para uso hospitalario como asientos, bandejas y controles remotos realizados en materiales plásticos, que contienen en su estructura nanopartículas de plata coloidal. Podemos observar como las nanopartículas de plata degradan la membrana celular de un microorganismo consultando el siguiente link: <http://youtu.be/FmAveAZ3NLg>

Film de material conductor diseñado con hilos de plata

Diversos artículos electrónicos como los *i-pads* y *tablets*, emplean la tecnología de pantalla táctil o *touchscreen*, por la cual es posible acceder a diversas aplicaciones, así como a carpetas o archivos con sólo presionar sobre la imagen del icono correspondiente.

Estos aparatos, poseen un film transparente que conduce la corriente, de *tereftalato de polietileno*¹⁰ (PET), el cual se recubre mediante óxidos de indio y estaño conocido como ITO (del inglés: *Indium tin oxide*), que se vaporizan y depositan generando una fina película sobre el plástico.

8 <http://www.nanosilver.com.my/msm.asp>.

9 Grupo conformado por un átomo de carbono que a su vez se halla unido a un átomo de oxígeno mediante un doble enlace y a un átomo de hidrógeno por un enlace simple que le confiere propiedades particulares a una cadena de átomos de carbono.

10 Más conocido por sus siglas en inglés: PET referidas a: polyethylene terephthalate (empleado para botellas descartables)

El indio no es un metal abundante y se agotará en los próximos diez años, pero han surgido nuevos materiales alternativos con características superiores. Nos referimos en este caso, al film plástico recubierto por nanotubos de plata en solución, que lo vuelve conductor de la electricidad, resistente y transparente debido a las sorprendentes características que adquiere el metal debido a su estructura nanométrica.

La empresa LG ha lanzado al mercado un monitor con pantalla táctil de 23 pulgadas, que incorpora esta nueva tecnología.

Ahora bien, ¿Cómo es posible elaborar nanotubos de plata? Las técnicas utilizadas son complejas y variadas. Algunas de ellas emplean un metal a modo de catalizador, donde las nanopartículas de plata se adhieren y se “apilan” en un ambiente con vacío.

Pinturas bactericidas fotocatalíticas, fabricadas con nanopartículas de TiO₂

¿Nanopartículas en películas transparentes que evitan la adhesión de polvo y a su vez desinfectan destruyendo la materia orgánica?

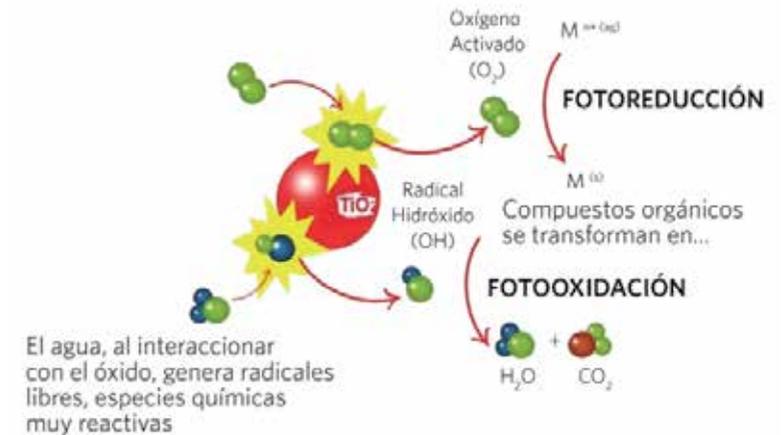
En la actualidad se presentan recubrimientos transparentes que se aplican en forma de spray realizados con nanopartículas de óxido de titanio (TiO₂)¹¹ que posee un *comportamiento fotocatalítico*. Este tipo de material, absorbe radiación ultravioleta presente en la radiación del sol y libera electrones que reaccionan con moléculas de oxígeno del aire, esto produce el reactivo anión *superóxido* (O₂⁻), además de otras especies químicas como el *radical libre*¹² hidroxilo, (OH[•]), que pueden atacar biomoléculas presentes en la superficie que forman parte de la suciedad adherida (ya sea de sustancias orgánicas depositadas o bien aquellas que forman parte de microorganismos). Esto lo podemos observar en la figura 4.2. En otras palabras, la radiación ultravioleta del sol “capturada” por el nanomaterial, desencadena una serie de reacciones complejas en la superficie del film lo que permite, en definitiva, degradar grasas y otras biomoléculas adheridas al plástico y por otra parte los microorganismos que pudieran encontrarse.

11 http://www.eeasolar.com/resources/linea_fotocatalitica_eeasolar.com.pdf

12 Especie química muy reactiva que posee un electrón del nivel externo (de valencia) sin compartir o aparear.

Este tipo de cobertura con nanopartículas de TiO₂ permite, mediante la radiación solar, la reducción de olores en ambientes, la degradación de compuestos orgánicos y por otra parte no genera contaminación.

Figura 4.2 Nanopartículas de TiO₂.



Fuente: www.airebiosaludable.es

¿Qué son los biosensores?

Los biosensores facilitan la detección de múltiples sustancias en ínfimas concentraciones. Nos permiten obtener, por ejemplo, información respecto del nivel de colesterol en sangre, así como el de glucosa, mediante un mínimo pinchazo en un dedo. Es posible por otra parte, detectar alguna sustancia tóxica generada en un alimento por descomposición bacteriana. Se trata de pequeños dispositivos nanoscópicos que poseen células eucariotas, así como de microorganismos, tejidos vegetales o animales, *organelas celulares*. También biomoléculas (enzimas, ADN entre otras) inmovilizadas en películas poliméricas, o bien, sobre nanotubos de carbono¹³ o silicio, Serna Cock y otros (2009).

13 Recordemos que el diámetro de un nanotubo es diez mil veces menor al de un cabello humano.

Este material de origen biológico (puede tratarse de una enzima), se selecciona específicamente de acuerdo a la *especie química*¹⁴ que se quiera detectar, por ejemplo, alguna sustancia en cantidades ínfimas presente en un alimento, que indique un proceso de descomposición. La especie química generada por un proceso de descomposición, (*analito*) interactúa con la enzima específica que se halla inmovilizada sobre un nanotubo. La interacción enzima- analito, genera una señal eléctrica (u otro tipo de señal, como variación de la temperatura) que un *transductor* “decodifica”, de manera tal que nos permite leer un valor en una pantalla o bien, interpretar una gráfica. La respuesta obtenida debe ser proporcional a la concentración del analito¹⁵ que se desea cuantificar en un determinado proceso.

En la actualidad existen más de 20.000 biosensores patentados para múltiples procesos industriales, así como para análisis de rutina. Las técnicas para la obtención de sustratos en los cuales se inmoviliza el material biológico son cada vez más sofisticadas y complejas.

Resulta importante destacar que se presentan diversas interacciones moleculares entre una determinada enzima y un sustrato, que le permite fijarse en la superficie.

Para que un biosensor pueda ser una herramienta adecuada en la detección de un determinado *analito*, son imprescindibles una serie de requisitos. Estos tienen que ver con la selectividad de la célula, organela o enzima, con respecto a la molécula que se desea monitorear: rápida respuesta a través de un sistema de *transducción*¹⁶ por cuanto las películas que inmovilizan el material biológico o bien los nanotubos, deben ser buenos conductores.

Los nanotubos se presentan como un material ideal para “depositar” enzimas, ya que poseen resistencia, elasticidad y rápida transmisión de electricidad al transductor. Por otra parte es posible alinear los nanotubos y generar biosensores multienzimáticos que se emplean en la actualidad para la industria de la alimentación para detectar, simultáneamente, múltiples sustancias.

Sin embargo, los nanotubos no son la única estrategia para fabricar sensores sino que se presentan múltiples opciones entre las cuales podemos destacar los denominados transductores nanomecánicos que se basan en la variación de ten-

sión superficial¹⁷ entre el biosensor nanomecánico y la muestra que interacciona. Un sistema óptico sofisticado detecta la variación de tensión superficial, resultado de la interacción, lo cual se traduce en una señal luminosa capturada por un fotoreceptor. (Fariña y otros, 2011)

Biosensores de glucosa

En la sección de este capítulo en el que se profundiza con respecto a la encapsulación de principios activos en quitosanos, se hizo referencia a la diabetes y a la insulina; ahora focalizaremos en los biosensores más vendidos en el mercado mundial, fabricados con nanotecnología, que permiten controlar el nivel de glucosa en sangre en pacientes con esta enfermedad.

El dispositivo transductor funciona a pilas, posee un tamaño muy reducido (como el de un celular) y el *biosensor* que se inserta al *transductor*, una pequeña tarjeta plástica descartable que contiene de un modo integrado un electrodo.

Dicho electrodo se *serigrafía*¹⁸ en la superficie plástica con una especie de tinta que contiene nanotubos de carbono en solvente orgánico, que son el “soporte” de la enzima específica.

La enzima (glucosa oxidasa o glucosa deshidrogenasa) interactúa con el sustrato presente en la muestra de sangre, que ascendió a la tarjeta por capilaridad y se producen como resultado, migraciones de electrones.

La micro corriente eléctrica así generada, se decodifica por el transductor y permite la lectura en una pantalla de cristal líquido (que forma parte del transductor), de los valores de glucosa en sangre en ml. La sangre que toma contacto con el electrodo asciende a través de un microcapilar.

En otras palabras, el biosensor podría compararse con una tarjeta que contiene “información química” y que puede “leerse” a partir de micro señales eléctricas que se generan entre el material específico de la tarjeta y un material externo que se desea detectar. El resultado de ello se puede percibir a nivel macroscópico, mediante valores numéricos en una especie de reloj digital con unidades.

14 Especie química involucra átomos, moléculas entre otros.

15 Se trata de la especie química que se desea detectar. Cuando hablamos de especie química nos referimos a un término muy abarcativo que puede incluir a iones, sustancias simples, compuestos, entre otros.

16 Transmisión de señales. Transformación de un tipo de señal en otra de distinta naturaleza.

17 Tiene que ver con el comportamiento de la superficie de un líquido como si se tratara de una lámina delgada debido a la cohesión o atracción entre las moléculas del mismo.

18 Serigrafía es la técnica que permite estampar imágenes, dibujos sobre cualquier material mediante transferencia de tinta a través de un tejido tensado en un marco que posee zonas barnizadas donde la tinta no pasa.

Aunque han desarrollado biosensores para lactato, ácido úrico y colesterol, ninguno es tan utilizado como el de la glucosa. La estabilidad de las "cintas" biosensoras de glucosa, oscila los 18 meses y se estima que se venden al año más de 6 billones de cintas detectoras.

¿Por qué resulta importante la medición de los niveles de ácido úrico en nuestro organismo? Porque el ácido úrico es el producto final del metabolismo de las purinas. Si se genera una alteración metabólica con respecto a las purinas, se incrementa la concentración de ácido úrico en sangre y esto provoca a su vez, su cristalización en articulaciones (*gota*, *artritis por microcristales*) y en los riñones (*cálculos*).

En definitiva: un electrodo de un *biosensor serigrafiado* mediante una solución de nanotubos de carbono evaporada sobre una película plástica, y posteriormente *funcionalizada* con grupos carboxilo por medio de una reacción química de oxidación en medio ácido, detecta ínfimas cantidades de ácido úrico en sangre o en orina. (Ortega Ortiz de Apodaca, F., 2006)

En el caso específico del ácido úrico, se requiere que las superficies hidrofóbicas de los nanotubos se vuelvan *hidrofilicas* para permitir la adsorción mediante interacciones moleculares del ácido úrico. Este proceso se denomina *funcionalización* ya que se agregan grupos funcionales oxigenados a su superficie, a partir de la oxidación del carbono en medio ácido. Este tipo de *adsorción* debida a interacciones polares con los nanotubos de carbono *funcionalizados* con grupos carboxílicos, es particularmente selectiva con respecto al ácido úrico frente a cualquier otro tipo de moléculas orgánicas presentes en la muestra, que pudieran interferir en el reconocimiento.

Adsorción

Es un fenómeno por el cual especies químicas son retenidas en la superficie de un material debido a diversas interacciones que se verifican de carácter electrostático-

Recordemos que un biosensor, a simple vista, es una pequeña tarjeta plástica de aproximadamente 4 cm de largo por 1 cm de ancho. Se pone en contacto con una mínima muestra que contiene el *analito*, que a su vez se lo inserta en un transductor (aparato electrónico) encargado de "traducir" una señal eléctrica,

generada por la interacción del sustrato-analito, a datos numéricos o gráficos en una pantalla de cristal líquido.

Resulta interesante destacar que este proceso de análisis dura sólo unos pocos segundos. El peso del aparato es de aproximadamente 30 g por cuanto puede transportarse fácilmente y funciona con 3 voltios de corriente continua.

Actualmente se encuentran a la venta biosensores que permiten medir simultáneamente el nivel de glucosa colesterol y ácido úrico en sangre. Para que esto sea posible, el biosensor serigrafiado posee varias capas y un mayor grado de complejidad con respecto a las enzimas empleadas entre otras cuestiones. El siguiente link te permite conocer el producto y la empresa taiwanesa que lo fabrica: <http://www.gbiotech.com.tw/productdesc.php?pdtid=1>

Alimentos frescos controlados mediante biosensores

Cuando compramos alimentos prestamos especial atención a su vencimiento y al buen estado de los envases. Esto nos da una cierta pauta con respecto a la frescura de los mismos.

Durante ciertos períodos de almacenamiento, alimentos como carne, pescados, frutas y vegetales pueden alterarse debido a la acción bacteriana y generar compuestos con olor desagradable que pueden ser tóxicos para nuestra salud.

En la actualidad, se han patentado algunos *biosensores* que permiten evaluar la frescura de un determinado producto mediante enzimas inmovilizadas sobre nanotubos de carbono, que pueden interactuar con mínimas concentraciones de analito, producto de la alteración del alimento. Sin embargo, deben considerarse en su diseño, enzimas estables y que sean fáciles de purificar. Este es el caso, de la glucosa oxidasa.

Si no es posible lograr enzimas con estas características, se recurre al uso de células completas o bien, tejidos biológicos que implican un menor costo en la elaboración de biosensores.

Sin embargo, las células completas presentan ciertos inconvenientes relacionados con su membrana celular que limita una rápida interacción entre el analito y la enzima específica. Dichas limitaciones, se reducen mediante tratamientos físico químicos de la membrana celular que incrementan su porosidad y permite al analito el fácil ingreso a la célula, a la vez que logra evitar la salida de macromoléculas de la misma. Las células se inmovilizan en películas de acetato de celulosa o en una matriz de agar gel.

Los biosensores empleados para la detección de pesticidas, así como metales pesados ensamblados sobre nanotubos de carbono, se diseñan a partir de organelas celulares como cloroplastos o mitocondrias.

Nanopartículas magnéticas

¿Qué son las nanopartículas magnéticas?

Los ferrofluidos magnéticos se concibieron hace varios años en la NASA, a partir de problemáticas presentadas en los viajes espaciales con respecto a la ingravidez y la dificultad de controlar líquidos a la hora de reparar, por ejemplo, el exterior de la nave. Las nanopartículas magnéticas, del tamaño de algunos nanómetros están formadas por el mineral magnetita (óxido mixto ferroso-diférrico) cuya fórmula es Fe_3O_4 y que de acuerdo a sus propiedades físico químicas se comporta como imán permanente. Las nanopartículas se incorporan a una sustancia que impide que precipiten, es decir, les facilita su solubilidad como por ejemplo un ácido graso, que a su vez estabiliza la emulsión. A los agentes emulsionantes también se los conoce como surfactantes. Las nanopartículas magnéticas requieren obtenerlas "in situ", debido a que de otro modo, no se logran tamaños nanoscópicos. Para ello se requiere de la combinación de cloruro ferroso, cloruro férrico, amoníaco y agua en cantidades estequiométricas.

Los ferrofluidos magnéticos poseen propiedades sorprendentes: la fluidez característica de los líquidos y el magnetismo de sustancias sólidas.

Uso de las nanopartículas magnéticas como agente de contraste en diagnóstico por imágenes

Las nanopartículas magnéticas se utilizan en diversos productos en diferentes especialidades. En medicina las podemos citar en el diagnóstico por imágenes y en la nanomedicina, en la destrucción de tumores. El producto patentado por el laboratorio Bayer: Resovist, se trata de un agente de contraste en diagnóstico por imágenes (tomografía), que permite detectar pequeñas lesiones puntuales en el hígado. Este producto consiste en nanopartículas de óxidos de hierro *superparamagnético* recubiertas con membrana de hidrogel que se emplea específicamente en el recubrimiento de nanopartículas.

Las nanopartículas en solución, se inyectan por vía intravenosa e ingresan al *retículo endotelial* de las células hepáticas por medio de *fagocitosis*. La mayor parte

de las células malignas en el hígado no contienen retículo endotelial, por cuanto no acumulan las nanopartículas. El resultado de este proceso es la imagen de un tumor brillante rodeado de un tejido oscuro que incorporó las nanopartículas. Por otra parte, este procedimiento reduce el tiempo del procedimiento ya que es posible lograr imágenes nítidas con mayor rapidez.

Uso de las nanopartículas magnéticas para el abordaje de ciertos tumores

Una de las ramas de la *nanomedicina* se focaliza en el tratamiento del cáncer. En el año 2010 la Agencia Europea de Medicamentos (EMA), aprobó una técnica sofisticada y novedosa para la eliminación selectiva de células cancerosas, mediante la generación de hipertermia, con muy buenos resultados en la reducción del tumor y un mínimo daño de las células sanas de la periferia.

Este tratamiento nanotecnológico implica un increíble avance, ya que, se atacan tumores desde su interior! El primer centro de *terapia nanotérmica* para el tratamiento de tumores sólidos cerebrales dirigido por un grupo de reconocidos investigadores se encuentra en la Charité University Medical Center en Berlín, Alemania (Figura 4.6)

Ahora bien: ¿Qué es la *terapia nanotérmica*? Se trata de un aumento de la temperatura en el interior del tumor de entre 50 a 55°C debido a la vibración de las nanopartículas magnéticas provocada por un campo magnético externo. El incremento de la temperatura en los tejidos biológicos causa la muerte celular debido entre otras cuestiones a la *desnaturalización* de las diversas proteínas que forman parte de las células.

En el caso concreto de un tumor cerebral, se inyecta una solución acuosa que contiene nanopartículas de 15 nm de diámetro, diseñadas con un núcleo de *magnetita* y un recubrimiento *biocompatible*¹⁹, mediante un procedimiento similar a una *biopsia* y posteriormente se aplica un campo magnético alterno que cambia su polaridad en 100.000 veces por segundo. Este impresionante campo magnético externo, hace vibrar las nanopartículas a gran velocidad, lo cual provoca un aumento de temperatura localizada en las células malignas y finalmente su muerte.

Es importante destacar los estudios previos al procedimiento que permiten, una vez inyectadas las nanopartículas y analizada la distribución de las mismas

¹⁹ Que posee afinidad con los tejidos biológicos.

en el tumor, estimar la temperatura ideal requerida para la destrucción de las células cancerosas que conforman el tumor, y por consiguiente, la intensidad adecuada del campo magnético.

Marcadores fluorescentes y nanopartículas

En la sección anterior se focalizó en biosensores que emplean transducción eléctrica. Sin embargo, actualmente, se han desarrollado y patentado diversos procedimientos que a partir de la interacción de *elementos biológicos* inmovilizados en un polímero, interactúan con el respectivo analito, generando respuestas lumínicas, decodificadas por *transductores ópticos*.

Los nuevos biosensores ópticos diseñados emplean, entre otros muy diversos materiales, nanopartículas de oro que se *adsorben*²⁰ fácilmente a la superficie de una proteína.

La "adhesión" de las nanopartículas a la superficie de la proteína, tiene que ver con atracciones electrostáticas debido a la elevada densidad negativa de las nanopartículas de oro y las cargas positivas de la proteína.

Las nanopartículas de oro se emplean en el diagnóstico inmunológico.

¿Cómo vemos lo invisible? puntos cuánticos y usos como marcadores biológicos

Los puntos cuánticos (PCs) son cristales coloidales del tamaño de algunos nanómetros hasta aproximadamente 2 a 3 micrones, que una vez excitados, emiten un haz de luz monocromático brillante durante varias horas. Este fenómeno se conoce como fluorescencia. (Pombo Barros y otros, 2011)

Lo cierto es que nanocristales de diferente tamaño, excitados con una misma fuente de radiación ultravioleta, por ejemplo, emiten haces de diferentes longitudes de onda que se perciben como haces de diferente color. Podemos observar que coloides cuyos puntos cuánticos poseen un tamaño de 2 nm emiten en azul; 2,3nm emiten en verde; 3,6 nm en naranja y 6 nm en rojo.

La fluorescencia de los PCs, es consecuencia del confinamiento de cientos de miles de iones organizados en cristales, forma de esfera, que adquieren en el proceso, y que se comportan sorprendentemente, como si se tratara de un único átomo.

Podemos preguntarnos que tienen de particular estos nanomateriales, ya

que la fluorescencia es un fenómeno conocido. Los PCs superan ampliamente a las sustancias llamadas fluorocromos, ya que, entre otras cuestiones, los nanocristales fluorescen durante varios días y emiten una intensa luz monocromática que supera la estabilidad de cualquier otra sustancia y pueden inocularse a los tejidos biológicos, tanto *in-vivo*, como *in-vitro*, previa *funcionalización* del mismo a fin de que no resulten tóxicos.

¿Es posible "colorear" biomoléculas del tamaño de algunos nanómetros y poderlas detectar a través de un microscopio? ¿Es posible analizar las transformaciones de diversas moléculas y posibles alteraciones?

Podemos imaginar un "laboratorio nanoscópico con microinstrumentos" que permite, por ejemplo, marcar diversos componentes en el momento en que se generan en el interior de una célula, sin alterar su fisiología!

El empleo de PCs, como marcador fluorescente, permite identificar proteínas "in-vivo", así como analizar las interacciones que se establecen en procesos fisiológicos y especialmente patológicos y su degradación pero con la salvedad de que la detección es visual.

¿Cómo ingresan los puntos cuánticos a los tumores?

Los capilares formados por el tumor poseen una única lámina de células endoteliales²¹ por cuanto al inyectarse los puntos cuánticos, en el torrente sanguíneo de animales, atraviesan sin problemas el tejido capilar enfermo con poros que oscilan los 200 micrones, mediante difusión pasiva. De este modo ingresan al tumor y es posible localizarlo, ya que se ilumina la zona afectada.

En resumen, los PCs superan a los marcadores fluorescentes en múltiples procesos relacionados con detección de biomoléculas en procesos fisiológicos y patológicos lo que permite a su vez, diagnosticar enfermedades e identificar la acción de nuevos fármacos en el interior de los tejidos.

¿Cómo se fabrican los nanocristales coloidales?

Se parte de soluciones coloidales concentradas de sales de cadmio, selenio, telurio, y se las somete a elevadas temperaturas en un solvente polimérico que rodea a cientos de miles de iones en estructuras esféricas, y los estabiliza obteniéndose PCs de baja toxicidad para los tejidos biológicos. http://youtu.be/ohJODL2_HGs

²⁰ Se trata de un fenómeno de superficie en el cual se adhiere una determinada especie química.

²¹ un tipo de célula aplanada que recubre el interior de los vasos sanguíneos y especialmente los capilares.

A fin de que los PCs sean hidrofílicos, es decir, que puedan disolverse en agua, se encapsulan en polímeros que a su vez los hacen resistentes a la degradación enzimática.

Posteriormente, mediante procesos químicos se incorporan grupos funcionales²² a la superficie polimérica que permiten la unión de biomoléculas, proteínas, péptidos, metales, oligonucleótidos que rodean el PC y son afines a las moléculas que se desean estudiar, en el interior de un tejido.

Análisis de rutina, realizados mediante esta técnica fluorescente, permiten detectar la presencia de determinadas biomoléculas en cantidades despreciables por cuanto la sensibilidad de los mismos es sorprendente.

PCs que facilitan neurocirugías

Las operaciones cerebrales son sumamente complejas ya que requieren de una extrema precisión. Los PCs, en este sentido, facilitan la extirpación de un tumor ya que es posible precisar los límites del mismo, iluminando la zona con la longitud de onda adecuada; como consecuencia, se genera fluorescencia debido a los puntos cuánticos alojados en el nódulo como se explicó previamente.

Ósmosis inversa vs Nanofiltros

La nanotecnología incorpora materiales mucho más eficientes que permiten, por ejemplo, la remoción de mínimas impurezas y microorganismos en aguas para el consumo humano.

Podemos preguntarnos, que hay de nuevo en ello puesto que se conocen diversos métodos de purificación como radiación UV, filtración, tratamientos químicos y procesos de desalinización.

La filtración de aguas de consumo mediante las técnicas tradicionales, no elimina la totalidad de las impurezas del agua y menos aún los virus y bacterias que por su tamaño nanoscópico, pueden atravesarlos. Para ello se emplean diversos tratamientos químicos que implican por otra parte, un mayor costo en el proceso final.

La ósmosis inversa es un procedimiento empleado para desalinizar agua de mar. Básicamente se trata de cilindros que poseen en su interior membranas

semipermeables que facilitan solamente el pasaje de agua, y retienen los iones que forman las sales. El proceso requiere que el agua salada ingrese con elevada presión al recinto. ¿Por qué? Si colocamos dos recipientes, separados por una membrana selectiva: uno con agua y otro con agua salada, el solvente migrará espontáneamente, hacia la solución concentrada. Como el proceso que se requiere, es inverso al que sucede espontáneamente, se debe forzar el pasaje del agua salada a través de la membrana a fin de obtener agua sin sal.

La ósmosis inversa, proceso, no espontáneo empleado para desalinizar el agua de mar, hasta hace varios años, presentaba una solución a la hora de emplear el agua de mar para consumo.

Sin embargo, mediante este proceso descrito, se malgasta hasta un 80% del agua empleada, eliminando todos los iones presentes en el agua, varios de ellos, necesarios para nuestra salud.

El caudal de agua que ingresa a los hogares luego de la ósmosis inversa es escaso. El procedimiento no elimina agentes patógenos como en el caso de un nanofiltro, que analizaremos a continuación, por cuanto se requiere de tratamientos químicos adicionales.

¿Qué es y cómo funciona un nanofiltro?

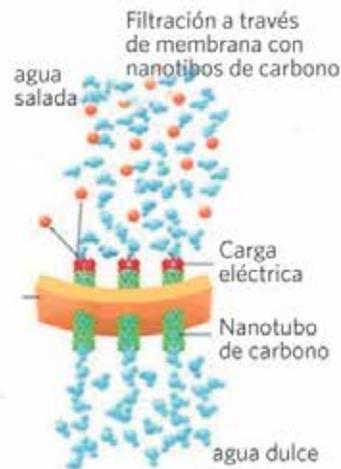
Los nanofiltros se hallan conformados por una malla de miles de nanotubos de carbono a modo de ovillo de hilo (Figura 4.3) donde el agua puede fluir sin reducción de caudal. Se verifican dos fenómenos durante la filtración. Uno tiene que ver con la adsorción, es decir, la adhesión de partículas y microorganismos sobre la superficie de los nanotubos y por otra parte, la exclusión de partículas que por su tamaño mayor al de la malla conformada por los nanotubos, no puede traspasarlos.

Las mallas de nanofiltros de carbono (puedes consultar el siguiente link al respecto: <http://nanofiltros.com/es/content/tecnologia-de-nanofiltros>) son sumamente resistentes y pueden volverse a utilizar luego de una limpieza profunda mediante sistemas de ultrasonido, cuya vibración, permite remover las micropartículas y una posterior esterilización en autoclaves a fin de eliminar los organismos patógenos (Condori Segovia, 2010).

Cabe destacar que esta maravillosa tecnología permitiría el acceso de agua potable a miles de poblaciones que carecen de este primordial recurso.

²² Grupos de átomos presentes en una molécula que le confieren a la misma, propiedades particulares.

Figura 4.3 Nanofiltro.



Fuente: extraída de: <http://javierpancorbo.blogspot.com.ar/>, entrada del 23 de setiembre 2011.

Radiación solar y nanopartículas de TiO_2 : antimicrobiano que supera a la "lavandina"

En las regiones donde se emplean aguas subterráneas para consumo humano provenientes de acuíferos superficiales, se corre el riesgo de contraer infecciones severas debido a bacterias coliformes presentes en la materia fecal (debido a la filtración de los líquidos cloacales de pozos ciegos, hacia las napas de agua).

Investigadores de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Tucumán han descubierto un método que brinda la solución a este problema. Se trata de un dispositivo diseñado con gran cantidad método que u de botellas descartables de agua mineral, fabricadas con PET (tereftalato de polietileno) que no absorben prácticamente la radiación UV, por cuanto no interfieren con el proceso. Dichas botellas se pulverizan con un recubrimiento transparente que se aplica en forma de spray, realizado con nanopartículas de óxido de titanio (TiO_2) que posee un *comportamiento fotocatalítico* según se explicó en el apartado anterior.

Luego de 4 horas de intensa radiación solar, mueren todos los microorganismos contenidos en el agua de las botellas debido a la radiación y a los radicales libre generados.

Recubrimientos bioactivos en pinturas al látex fabricados en nuestro país

Se trata de un recubrimiento que inhibe la proliferación bacteriana mediante la modificación a nanoescala de la superficie de carga y pigmentos. Esto se logra a partir de procedimientos complejos diseñados por especialistas de la cátedra de Microbiología de la FFyB de la UBA (Faculta de Farmacia y Bioquímica) y el departamento de Química de materiales del INTI, mediante el agregado de aminoácidos a nanopartículas de pigmentos o cargas, que son requeridos por las bacterias. De este modo, los microorganismos incorporan dichas moléculas, más un agregado extra, que detiene su metabolismo provocando su muerte.

Dichos recubrimientos son resistentes y resultan ideales para instalaciones hospitalarias.

Cristales líquidos, nanocristales naturales

Los cristales líquidos se conocen como el *cuarto estado* en el que podemos encontrar a la materia y tiene en común propiedades de los líquidos- en relación con su fluidez- así como también, presentan propiedades de los sólidos, cuyas especies químicas²³ que lo conforman se organizan en forma ordenada según un patrón característico.

Hace más de 100 años, el botánico austríaco Friedrich Reintzner, observó que una sustancia sólida transparente derivada del colesterol (*benzoato de colesterilo*), se enturbiaba al calentarla a una determinada temperatura y al quitar el recipiente de la fuente de calor, luego de un tiempo, adquiría su coloración original. El caso comentado, pertenece a los cristales denominados *termótropos* (*tropo*, del griego, giro), esto puede interpretarse del siguiente modo: a medida que aumenta la temperatura aumenta la distancia entre las capas de moléculas lo cual implica que la luz que se refracte cambiará de ángulo y velocidad y la consecuencia macroscópica de este efecto en nanoescala, es la variación del color del material.

Las moléculas derivadas del colesterol, se organizan en múltiples láminas como las hojas de un libro y pueden rotar una respecto de la otra y posicionarse como los escalones de una escalera caracol, a medida que la temperatura se

23 Esta expresión se emplea para denominar en forma genérica átomos, moléculas o iones indistintamente.

incrementa. Sin embargo las moléculas que conforman dicho cristal se ordenan paralelas en cada plano; este tipo de cristal líquido se denomina *colestérico*.

Si nos remitimos a otro tipo de cristal líquido que se encuentra en la naturaleza, cuyas moléculas se ordenan perpendiculares a las capas que conforman, estamos en presencia de un *cristal líquido esméctico* y seguramente se sorprenderán al enterarse que nos referimos, por ejemplo, a la doble capa de fosfolípidos²⁴ de una membrana celular. En este caso, las variaciones que se presentan en dicho *cristal líquido* no es a causa de la temperatura, sino del tipo de solvente que interacciona con el mismo a determinadas concentraciones de soluto. Esto quiere decir que posee propiedades *litrópicas*. Podemos entonces concluir que los liposomas, vistos anteriormente en formulaciones cosméticas, se tratan de cristales líquidos *esméticos* con propiedades *liotrópicas*, es decir, que el solvente facilita, en cierta medida, la organización de las *nanopartículas* que conforman el cristal.

¿Qué relación existe entre el color que se observa en el cristal líquido y la variación de la temperatura?

La variación de color que observamos al calentar el cristal líquido en cuestión, tiene relación con la distancia que existe entre las láminas conformadas por moléculas y orientadas en la misma dirección. Si aumenta la temperatura, la distancia entre las láminas varía y la luz visible se refleja selectivamente con un ángulo diferente lo que provoca una disminución de su velocidad y por lo tanto una variación de la longitud de onda. Esto se traduce al plano macroscópico como un cambio de color del material en cuestión.

Seguramente, podríamos preguntarnos: ¿Dónde está “lo nano” en este tema? Nos referimos a materiales conformados por ciertos tipos de moléculas que poseen tamaño *nanoscópico* (derivados del colesterol menores a 2 nm y fosfolípidos, entre 3 y 5 nm) que se hallan organizadas de acuerdo a determinados patrones. Según vimos anteriormente, en una situación intermedia entre el estado sólido y líquido, y que, de acuerdo a la alteración del arreglo *nanoscópico*, se observarán fenómenos físicos como por ejemplo variación en la coloración del *cristal líquido*.

Kevlar: ¿Un cristal líquido?

Se trata de un material que posee propiedades excepcionales, sintetizado por primera vez por la química Stephanie Kwolek, de la firma Dupont, en 1965. En realidad, se buscaba superar la resistencia de la fibra polimérica más conocida de la época el Nailon. A modo de ejemplo, podemos citar alguna de sus características: soporta altas temperaturas, posee elevada resistencia al rozamiento y a la tracción (5 veces, mayor al acero), ideal para mochilas especiales y deportes de alto riesgo; sus fibras no se quiebran a elevadas presiones, por cuanto se emplean como chalecos antibala.

Durante la síntesis, en la combinación de dos polímeros específicos, derivados de la *poliamida*, en ácido sulfúrico, se generaba un material opalescente y, debido a esta característica, se descartaba. Dicha coloración tenía relación con la formación de un cristal líquido, material desconocido en ese entonces.

Se trata macromoléculas que presentan fase de cristal líquido *liótropo* cuyas unidades *nanoscópicas* (monómeros), se organizan con una perfecta orientación longitudinal paralela al plano y que se mantiene luego de eliminar el solvente del material, en este caso el ácido sulfúrico. La organización molecular de la fibra, es la causa de sus propiedades físicas excepcionales

24 Un tipo particular de molécula de lípido con características anfipáticas (que posee un extremo hidrofílico y un extremo hidrofóbico) que posee un grupo fosfato.

CAPÍTULO V

La nanotecnología que vendrá: posibilidades y responsabilidades

Ana Reviglio

En las interacciones que los seres vivos establecemos con el ambiente, el sentido de la vista juega un papel fundamental. A partir del reconocimiento visual, los seres vivos que estamos dotados de esta modalidad sensorial podemos interactuar con nuestro entorno, comprenderlo y desarrollar las adaptaciones necesarias para la supervivencia. Esa capacidad de reconocer visualmente los distintos elementos del mundo que nos rodea depende del límite de resolución del ojo humano, que nos permite distinguir como diferentes dos puntos separados como mínimo por una distancia de 0,01 centímetros (100000 nanómetros). Los avances científico-tecnológicos posibilitaron aumentar y mejorar las percepciones del mundo visible, concediéndonos el acceso visual a lo *micro*, a lo *cuanto* y a lo *nano*, dimensiones que están muy alejadas de aquellas que pueden ser reconocidas por los seres humanos. De esta manera, el mundo que antes considerábamos invisible se ha transformado en algo que podemos ver, tocar y manipular y así integrar a nuestra realidad cotidiana. ¿Qué se esconde en ese mundo invisible para nuestros sentidos? ¿Qué nos puede ofrecer en la cotidianeidad ese universo que se presenta abstracto, intangible, casi virtual? Los capítulos precedentes han sido una puerta de entrada al *mundo-nano*, ese mundo minúsculo, en escala de miniatura, donde todo tiene una dimensión insólita, equivalente a la mil millonésima parte de un metro. ¿Es posible que algo tan pequeño pueda transformar nuestra realidad? ¿Es posible que el *mundo-nano* pueda hacer nuestra vida más fácil, más simple, más divertida y más segura? En este capítulo transitaremos por las potencialidades de la nanociencia y de la nanotecnología. Vamos a explorar la

cocina de los nanocientíficos para saber qué novedades están preparando, vamos a ejercitar el asombro, la fantasía y la imaginación para pensar cómo sería un mundo en el cual la dimensión *nano* haya llegado para quedarse.

Nanotecnología aplicada a la salud

Entre las disciplinas que pueden beneficiarse con el desarrollo de la nanociencia y de la nanotecnología encontramos a aquellas que están vinculadas con la preservación de la salud y la prevención de enfermedades. La reparación de tejidos, los procedimientos diagnósticos, la administración de medicamentos, el tratamiento del dolor y la terapia génica¹ constituyen algunos de los campos en los cuales la nanotecnología podría ofrecer posibilidades que mejorarían significativamente el pronóstico de ciertas afecciones.

De células, tejidos y trasplantes

¿Nos atrevemos a imaginar un gran laboratorio donde las células sean congregadas en pequeños grupos y encomendadas a realizar una misión en el interior de un cuerpo humano? ¿Somos capaces de imaginar a este grupo selecto, vestido con sus mejores galas, trasladándose a bordo de una poderosa nanocápsula protectora? Y si cerramos más fuerte los ojos... ¿podríamos asistir al conmovedor espectáculo de verlas arribar a destino? ¿Y de asombrarnos al ver cómo se compenetran con la ardua tarea de multiplicarse hasta dar a luz un tejido sano, joven y buen mozo, candidato ideal para reemplazar a aquel que ha sido dañado, perdido o malogrado? Atrevámonos: la nanotecnología nos da piedra libre para hacerlo.

Cuando un tejido ha sido dañado o perdido a causa de una enfermedad o un accidente, es posible estimular su regeneración transplantando un grupo de células con alta capacidad replicativa. Para evitar que las células transplantadas sean agredidas por el sistema inmune (que tendería a eliminarlas) o por traumatismos mecánicos, son recubiertas por microcápsulas con función protectora que permiten mantener su estabilidad y su viabilidad. La eficiencia de este proceso aumentaría significativamente utilizando cápsulas formadas por nanomateriales. Las propiedades extraordinarias de los nanomateriales favorecen la difusión de

¹ La terapia génica consiste en la manipulación del material genético (ADN) de una célula para corregir un defecto o agregar información.

oxígeno y de nutrientes, lo que mejoraría la biodisponibilidad celular y permitiría reducir la cantidad necesaria para el trasplante. La regeneración de hueso y de cartílago ya está siendo ensayada con esta técnica.

En el área de la regeneración de tejidos es importante destacar que la Madre Naturaleza ha diseñado el cuerpo humano a nanoescala, razón por la cual los nanomateriales constituyen la mejor elección para construir andamios sobre los cuales las células puedan multiplicarse y diferenciarse hasta transformarse en un tejido funcional en el sitio exacto del defecto. Huesos, nervios, cartílagos, vasos sanguíneos y músculos podrían crecer sobre un soporte nanoestructurado adecuado, reparando lesiones y ofreciendo a las personas una mejor calidad de vida. ¿Ciencia ficción? No, no: se llama nanotecnología.

De manera similar, el desarrollo de matrices extracelulares nanoestructuradas ha representado un avance significativo en el área de la bioingeniería tisular. La matriz extracelular representa el medioambiente de las células que conforman un tejido: es un entramado de moléculas diversas (proteínas, glúcidos, agua, iones) que se ubican en el espacio intercelular y que son producidos por las propias células. La matriz extracelular cumple un papel fundamental en la función de un tejido ya que mantiene la forma de las células, permitiendo que se adhieran entre sí para lograr la cohesión adecuada, y modula los procesos de multiplicación celular que participan en el crecimiento y regeneración de los tejidos.

La composición de esta matriz es característica de cada tejido y es renovada de forma continua por las células que la producen. La creación artificial de tejidos y órganos demanda disponer las células en una matriz extracelular adecuada que ofrezca las condiciones óptimas para que las células se multipliquen y vayan adquiriendo las características que le permita al tejido cumplir con su función. Hacer crecer células en una superficie plana es fácil; sin embargo, estos cultivos celulares se comportan de manera diferente a los tejidos naturales conformados de manera tridimensional.

La complejidad para recrear de forma artificial el delicado equilibrio que regula las características de la matriz extracelular representó durante mucho tiempo el límite más difícil de sortear en la regeneración de tejidos. Sin embargo, la nanotecnología puede acercar a la realidad ese sueño largamente acariciado. La creación de nanofibras de diámetros diferentes y con distintas propiedades mecánicas permite combinarlas para formar matrices nanoestructuradas tridimensionales capaces de reproducir las condiciones fisiológicas, físicas y químicas del microambiente celular. De esta manera, las células encontrarían en este nanoambiente el estímulo adecuado para organizarse de manera funcional. Este

procedimiento se utiliza en la actualidad para la regeneración de tejido óseo y de tejido cartilaginoso.

En el año 2010, un grupo de investigadores de la Universidad de California-San Francisco presentó el primer prototipo de riñón artificial implantable formado a partir de miles de nanofiltros de silicio (membranas de silicio con nanoporos) que remueven de la sangre componentes potencialmente tóxicos. Este desarrollo integra, además, un biorreactor² que es capaz de reproducir el papel que desempeña el riñón sano y funcionante en el control metabólico y en la regulación del equilibrio hídrico. De este modo, el riñón artificial implantable está en condiciones de reproducir la capacidad de producir vitamina D y de participar en el control de la presión arterial. Los investigadores confían en poder integrar todo este desarrollo tecnológico en un dispositivo que tenga el tamaño de una taza de café y que pueda ser implantado en el organismo de una persona. Este riñón artificial implantable formado a partir de nanofiltros de silicio podría eliminar la necesidad de someter a tratamiento con diálisis a las personas con enfermedad renal. Asimismo, aportaría beneficios significativos a la problemática del trasplante renal, ya que resolvería la dificultad de encontrar donantes compatibles y evitaría la posibilidad de rechazo luego de realizado el trasplante, ya que los nanoporos de silicona son lo suficientemente pequeños como para impedir que el sistema inmune pueda ponerse en contacto con las células renales. Poder completar el proceso de investigación y desarrollo de este dispositivo demanda una inversión cercana a los trece millones de dólares, lo cual representa menos de la mitad de lo que los Estados Unidos invierten en tratamiento dialítico anualmente. El grupo de investigación tiene una página en Facebook donde es posible seguir el curso de las investigaciones: <https://www.facebook.com/ArtificialKidney>. A la fecha, el dispositivo ha sido evaluado en modelos animales con resultados alentadores. Estiman poder comenzar los estudios clínicos para comprobar eficacia y seguridad del dispositivo en seres humanos entre el año 2016 y 2018.

La trazabilidad de células madre³ utilizadas para trasplante es otra área de la medicina regenerativa que se ha visto favorecida por las aplicaciones de la nanotecnología. La trazabilidad hace referencia a la posibilidad de ubicar, localizar

2 Un biorreactor es un recipiente donde se llevan a cabo reacciones químicas. En general, los biorreactores buscan mantener ciertas condiciones ambientales propicias que favorezcan la producción de fenómenos biológicos

3 Las células madre son células que poseen la capacidad de dividirse ilimitadamente dando lugar a diferentes tipos de células.

e identificar a las células transplantadas con el objetivo de evaluar su comportamiento dentro del organismo del receptor. Para este fin, se han desarrollado nanopartículas semiconductoras capaces de emitir fluorescencia. Introducidas en las células madre por diferentes mecanismos, permiten el seguimiento de las células transplantadas y la evaluación de su comportamiento. Asimismo, las nanopartículas superparamagnéticas⁴ de óxido de hierro que tienen un diámetro inferior a 50 nm también pueden introducirse en el citoplasma de las células madre mientras están en cultivo y actuar como un sensor biológico capaz de detectar ciertos fenómenos que informarían sobre la biodisponibilidad celular⁵ una vez realizado el trasplante.

La medicina regenerativa no es la única área en la cual las nanopartículas superparamagnéticas de óxido de hierro pueden ser aplicadas: estos elementos también ofrecen potencialidades en el campo del diagnóstico por imágenes, pudiendo ser utilizadas como medio de contraste para mejorar la visualización de las distintas estructuras del cuerpo cuando se estudian a través de radiografía, tomografía axial computada o resonancia magnética nuclear.

Las células madre o stem cells son células no especializadas que poseen la capacidad de dividirse ilimitadamente y pueden ser inducidas a convertirse en células con funciones especiales. Esta capacidad de dar origen a variedades de células diferentes es lo que se conoce como pluripotencialidad. Debido a sus características, las células madre son capaces de reparar, regenerar y reemplazar células, transformándose así en una opción prometedora para el tratamiento de muchas enfermedades.

Las células madre pueden encontrarse en diferentes sectores del organismo y presentar distintos grados de desarrollo. Así, es posible encontrar:

- *células madre adultas o específicas de tejido*: son las que generan los tipos de células maduras dentro de un tejido u órgano determinado para reemplazar células que mueren o reparar tejido dañado.

4 El superparamagnetismo es una propiedad física de ciertos materiales que se relaciona con su capacidad de ejercer acciones a distancia, tales como atracciones o repulsiones mutuas.

5 La biodisponibilidad celular hace referencia al porcentaje de las células madre transplantadas que se están adaptando al organismo del receptor y realizan sus funciones específicas.

- *células madre fetales*: son las que impulsan el crecimiento y desarrollo de los órganos a partir de la 9na semana de gestación (período fetal). En general, son específicas de tejido.
- *células madre de sangre de cordón*: la sangre presente en el cordón umbilical en el momento del nacimiento posee gran cantidad de células madre formadoras de sangre. Estas células son específicas de tejido.
- *células madre embrionarias*: provienen de embriones muy precoces y pueden, en teoría, ser inducidas para dar origen a todos los tipos celulares del organismo.
- *células madre reprogramadas o pluripotentes inducidas*: en 2006, los científicos descubrieron cómo "reprogramar" células que poseen una función especializada para que se comporten como una célula madre embrionaria. Estas células pueden obtenerse induciendo a las células especializadas a expresar genes que, normalmente, se originan en células madre embrionarias y que controlan el funcionamiento de la célula. Las células madre embrionarias y las células reprogramadas tienen muchas características en común, entre ellas, la capacidad de convertirse en las células de todos los órganos y tejidos.

En agosto de 2013, científicos de la Universidad Islámica de Azad, en Irán, presentaron los resultados de un proyecto de investigación tendiente a demostrar los beneficios del nanopolvo de hidroxapatita de calcio⁶ en la reparación de lesiones óseas, pudiendo presentarse como una alternativa efectiva al tratamiento con injertos. Los resultados del proyecto han permitido reproducir y dirigir el procedimiento de regeneración ósea a partir de la combinación de tejido óseo esponjoso de origen animal y un nanomaterial de revestimiento con alto contenido de hidroxapatita. De esta manera, se logra un proceso de regeneración en tres dimensiones que involucra tanto a las células formadoras de hueso (osteoblastos y osteocitos) como a los elementos vasculares del hueso (arterias y venas). Este desarrollo ha sido implementado con éxito para tratar lesiones óseas en conejos. Se espera que su aplicación en seres humanos sea igualmente exitosa.

⁶ Forma química en la que se encuentra el 99% del depósito del calcio corporal total

Mejor los nanorremedios...

La alta capacidad de investigación y desarrollo (I+D) de la industria farmacéutica ha permitido incorporar elementos nanotecnológicos a una serie de proyectos que podrían aumentar la eficacia y minimizar los efectos adversos de una gran cantidad de tratamientos. En junio de 2013, un grupo de investigación colaborativa que reúne a científicos del Instituto Laue-Langevin (Francia), la Universidad de Chicago (Estados Unidos) y la Organización sobre Ciencia y Tecnología Nuclear (Australia) demostró que nanopartículas de oro con carga positiva son capaces de atravesar las membranas celulares. Por el contrario, aquellas nanopartículas con carga negativa no muestran esta propiedad aunque pueden ejercer cierto mecanismo protector sobre la integridad de las membranas plasmáticas. Estos resultados alientan el diseño de nanopartículas con aplicaciones médicas que harían más eficiente la administración de medicamentos utilizados para tratar el cáncer. Las nanopartículas de oro pueden representar formas de administración de fármacos particularmente eficientes debido a su capacidad para almacenar compuestos químicos. Además, la superficie de las nanopartículas puede ser fácilmente modificada con el agregado de anticuerpos dirigidos específicamente a receptores de las células tumorales. Esta propiedad incrementaría la especificidad y disminuiría de forma significativa los efectos adversos de los tratamientos antineoplásicos ya que los fármacos actuarían solamente sobre las células enfermas sin afectar a las células sanas.

Otra propiedad de estas nanopartículas es la de generar calor cuando son iluminadas. El calor puede ser utilizado a manera de "terapia fototérmica" (llamada así porque utiliza luz y calor) para destruir células cancerosas de forma localizada, preservando el tejido sano circundante. Si bien el proyecto debe atravesar otras fases de desarrollo antes de poder ser aplicado a gran escala, las perspectivas de este descubrimiento son prometedoras para el tratamiento futuro de distintos tipos de cáncer.

En la misma fecha, un grupo de investigadores de la Universidad de Carolina del Norte, Estados Unidos, publicó el método por el cual pudo desarrollarse una nanoestructura en la que fue introducida una cavidad central y una abertura en su parte superior. Estos dispositivos se conocen como nanovolcanes. Tanto el tamaño de la cavidad como el de la abertura superior pueden ser controlados de manera exacta, lo cual transforma a los nanovolcanes en una opción ventajosa para almacenar medicamentos y administrarlos de manera controlada (es decir, liberando el medicamento de forma gradual durante un período de tiempo prolongado). El

tamaño de la cavidad central permitiría controlar la cantidad de fármaco que un nanovolcán puede almacenar, mientras que el tamaño de la abertura en la parte superior podría utilizarse para regular la emisión del fármaco.

Esta forma de administración permite aumentar el intervalo de tiempo que separa a las tomas sucesivas de un medicamento, mejorando significativamente la adherencia (cumplimiento) por parte de los pacientes. De acuerdo a lo manifestado por los investigadores, este desarrollo tecnológico requiere materiales que no tienen alto costo y tiene la ventaja de ser relativamente sencillo de reproducir a gran escala y de manera uniforme. Estas características harían que los “nanovolcanes” fueran particularmente útiles para la administración de medicamentos. En marzo de 2013, científicos del Departamento de Nanoingeniería y del Centro Oncológico Moores (Universidad de California, Estados Unidos) publicaron el desarrollo de una nanoesponja formada por nanopartículas con capacidad de absorber toxinas que pueden lesionar las membranas de otras células. El mecanismo de acción de las nanoesponjas consiste en impedir que las toxinas interactúen con sus células blanco. De esta manera, resultan efectivas para prevenir el daño celular. Ensayadas en un modelo de ratón, las nanoesponjas demostraron efectividad para reducir de forma significativa la concentración de una sustancia tóxica llamada hemolisina alfa la cual es producida por la bacteria *Streptococo*. Esta toxina produce la lisis o destrucción de glóbulos rojos a través de la formación de orificios llamados poros en las membranas celulares. De esta manera, las nanoesponjas representan un mecanismo de detoxificación⁷ que podría ser aplicado para tratar una amplia variedad de patologías producidas por toxinas con mecanismos de acción similares.

Los nanoalambres son considerados elementos fundamentales para la construcción de dispositivos nanotecnológicos en el futuro, con un gran potencial para formar parte de transistores, células solares, sensores y láseres. En julio de 2013, investigadores de la Universidad Nacional de Seúl, en Corea del Sur, utilizaron nanoalambres para almacenar componentes químicos biológicos o biomoléculas como el ATP. Los nanoalambres permiten almacenar biomoléculas y liberarlas ante la aplicación de un estímulo eléctrico. La precisión en su mecanismo de acción estaría garantizada por la presencia de tres sectores distintos en su nanoestructura los cuales desempeñan roles bien diferenciados: un segmento polimérico que tiene función almacenadora y es utilizado para controlar la liberación de las

moléculas de ATP, un segmento hecho de níquel que permite la utilización de campos magnéticos para conducir al nanoalambre hasta el lugar correspondiente y un tercer segmento hecho de oro que asegura un contacto eléctrico adecuado entre el nanoalambre y los electrodos. Habiendo demostrado la capacidad de los nanoalambres para almacenar ATP, los investigadores están planeando experimentar con otras biomoléculas como las drogas que controlan las distintas funciones de células y tejidos.

Modificando los genes

La terapia génica se erige como una de las grandes promesas del futuro a mediano plazo de la medicina. Este tratamiento consiste en la manipulación del material genético (ADN) almacenado en el núcleo celular para corregir un defecto o adicionar información para el desarrollo de una nueva función celular que permitiría subsanar una alteración. Las nanopartículas (por ejemplo, nanodiscos, nanoliposomas, nanopartículas de oro) pueden ser utilizadas como vectores específicamente dirigidos para introducir nuevos genes en el ADN nuclear. Las consecuencias de esta manipulación del ADN pueden estar orientadas a inducir tanto pluripotencialidad como diferenciación de las células sobre las que se interviene.

Resumiendo...

A modo de resumen, puede postularse que la nano-tecnología se propone como una herramienta que permitirá desarrollar alternativas terapéuticas novedosas para:

- administrar medicamentos
- dirigir medicamentos a ciertas células y tejidos
- diagnosticar y tratar enfermedades
- estimular la regeneración de células y tejidos

⁷ Los mecanismos de detoxificación permiten eliminar del organismo aquellas sustancias que pueden producir daño.

Nanotecnología aplicada a la actividad industrial

La actividad industrial representa otra de las áreas a las cuales la nanotecnología puede ofrecerle contribuciones significativas.

Hágase la energía

Una de las problemáticas que actualmente afecta al mundo de manera global es la crisis energética. Para gran parte de la sociedad actual, una vida sin iluminación, refrigeración, transporte, suministro eléctrico o calefacción sería casi inimaginable. Esta dependencia energética nos ha llevado a un consumo excesivo de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) que son considerados recursos no renovables y están próximos al punto de agotamiento. Esta situación hace necesario buscar fuentes de energía alternativas que puedan dar respuesta a la demanda poblacional. El sol constituye una fuente de energía lo suficientemente potente como para evitar que las poblaciones sean energéticamente dependientes de los combustibles fósiles. Sin embargo, los procedimientos que se necesitan para poder aprovecharla incrementan aproximadamente diez veces los costos de generación de energía de manera tradicional. Al respecto, los desarrollos nanotecnológicos estarían en condiciones de ofrecer en un futuro cercano una alternativa válida para que la energía solar pueda dar respuesta a la problemática energética. A través de la nanotecnología se está desarrollando un material fotovoltaico capaz de generar energía eléctrica por acción de la luz. Este material, llamado nanoceldas o nanocélulas solares, tendría la propiedad de extenderse sobre una superficie como si fuese un plástico o una pintura y así atrapar la energía solar permitiendo ser utilizada para el consumo doméstico o industrial. Como sería factible integrarlo con otros materiales de construcción y promete tener costos bajos, haría posible que la energía solar esté al alcance de un porcentaje poblacional importante. En julio de 2013, la empresa *Bandgap Engineering* de la ciudad de Massachusetts, Estados Unidos, anunció el patentamiento de células solares realizadas con silicio nanoestructurado. Este desarrollo, realizado en forma conjunta con el Instituto Tecnológico de Georgia, ha demostrado una eficiencia absoluta 0,3% superior a la de las células solares industriales estándares⁸. El resultado es significativamente prometedor, ya que espera alcanzarse una eficiencia 1% superior a la de las células

8 Las células solares industriales estándares hacen referencia a aquellas a las que no se aplica nanotecnología.

solares estándares cuando el proceso haya sido optimizado.

Tela, papel y tijera

En el año 2012, fueron publicados los resultados del trabajo colaborativo de un equipo de investigación iraní integrado por profesionales de la Universidad Tecnológica de Amir Kabir y de la Compañía Petroquímica de Investigación y Tecnología. El trabajo mostraba cómo podían modificarse ciertas propiedades de las fibras de polipropileno para permitir teñirlas con diversos colorantes. El polipropileno es un polímero termoplástico inodoro, incoloro y traslúcido que tiene múltiples aplicaciones en diferentes áreas industriales debido a que sus propiedades lo ubican en una posición francamente ventajosa frente a otros plásticos. Sin embargo, algunas características desventajosas de este material impiden que pueda ser utilizado para otras aplicaciones. Un ejemplo de esto es el hecho de que las fibras de polipropileno no pueden ser teñidas empleando los métodos de coloración habituales de la industria textil, siendo la coloración en masa es el único método disponible para teñirlas. El grupo colaborativo iraní ha logrado modificar esta propiedad del polipropileno al combinarlo con nanopartículas orgánicas e inorgánicas. Estas nanopartículas son introducidas en la matriz del polipropileno con el objetivo de crear espacios que serán ocupados posteriormente por los colorantes.

En julio de 2013, la edición en español de *MIT Technology Review* publica los avances logrados por un equipo de investigación del laboratorio Media Lab del Instituto Tecnológico de Massachusetts en Estados Unidos en relación a la posibilidad de manejar las propiedades de elementos cotidianos como tela o papel en la nanoescala. De acuerdo a lo expresado por los investigadores, “bajar a la nanoescala” permite crear materiales con propiedades específicas, como por ejemplo, hacer que cambie de color dependiendo del ángulo por el que se mire o de acuerdo al tipo de tramas o patrones con el que se lo cree. La nanoescala se presenta así como un espacio de diseño muy interesante que permite no sólo moldear la forma de un objeto sino también manipular sus cualidades y propiedades materiales.

Los desarrollos nanotecnológicos parecen tener mucho para ofrecerle a la industria textil: en julio de 2013 la revista *Carbohydrate Polymers* publica los resultados de un grupo de investigación que logró diseñar y elaborar fibras electroconductoras utilizando nanoláminas de grafeno. De este modo, es posible crear superficies conductoras que revistan los materiales textiles e incluso ajustar la cantidad de conductividad en cada caso. El proyecto se dedicó a investigar los

efectos de las nanoláminas de grafeno sobre los cambios de color, las propiedades mecánicas y el pasaje de luz a través de los materiales textiles. Se observó que la conductividad puede ajustarse manipulando la concentración de grafeno o el grosor del revestimiento. Y se demostró una mayor resistencia de los materiales textiles nanorrevestidos al lavado y al desgaste mecánico. Los materiales textiles nanorrevestidos podrían ser utilizados en la producción de piezas electrónicas flexibles como sensores, electrodos, capacitores y celdas solares.

El nano-constructor

En marzo de 2013, un equipo de científicos de la Universidad de Zhejiang, en la ciudad de Hangzhou, China, presentó una espuma basada en nano-tubos de carbono congelados en seco combinados con láminas de grafeno. El resultado es el llamado aerogel de grafeno, un material con una densidad de 0,16 miligramos por centímetro cúbico, tan liviano que puede ser apoyado sobre una flor de cerezo sin provocar daño y que es considerado el material más liviano que se ha logrado. Tiene una significativa capacidad de aislación térmica, con lo cual ofrece potenciales aplicaciones para evitar tanto la pérdida de calor de los ambientes como su aumento. Asimismo, el aerogel puede ser utilizado en la producción de automotores debido a su gran capacidad para amortiguar golpes.

En mayo de 2013, la Unión Europea anunció su participación en NAMOS, un proyecto de nanotecnología que tiene como objetivo obtener mayores prestaciones para el acero, además de reducir el consumo energético en el proceso productivo. NAMOS es un proyecto colaborativo que cuenta con la participación de distintas entidades europeas y de la empresa Gerdau, una organización brasilera que se destaca como una de las principales proveedoras de aceros especiales del mundo. Alrededor de treinta y cinco investigadores de distintos países participan en este proyecto. Ellos trabajarán, durante tres años y medio, en la investigación y desarrollo de nanotecnología para sustituir los aceros templados y revenidos, con el fin de eliminar tratamientos térmicos y operaciones intermedias. La inclusión de esta tecnología en el sector siderúrgico supondrá numerosos beneficios. Uno de los sectores más beneficiados será la industria automotriz, ya que se mejorarán ciertas características mecánicas del acero como la resistencia, la tenacidad o la vida útil. Asimismo, los resultados de este proyecto podrán aplicarse también a otros sectores como el de las energías renovables, concretamente, a la construcción de aerogeneradores. Entre el 06 y el 09 de julio de 2013, se llevó a cabo en la ciudad de Teherán, Irán, la

13ra. Feria Internacional de la Construcción (Confair 2013), en la cual fueron presentados distintos desarrollos nanotecnológicos que prometen ofrecer ventajas significativas sobre los materiales utilizados en la actualidad:

- nano-pinturas con propiedades antiestáticas
- nano-revestimientos a prueba de agua
- nano-revestimientos con propiedades antimanchas, antibacterianas, anti-deslizantes y antierosivas
- nano-pinturas decorativas
- nano-pinturas autolimpiantes
- nano-hormigón liviano
- nano-maderas con propiedades anti-ígneas (resistente al fuego) resistente al agua y al aire

Al pan, pan y al vino, vino

En la misma fecha, agosto de 2013, el Ministerio de Agroindustria y Tecnología de la República Argentina, a través del Instituto de Desarrollo Industrial, Tecnológico y de Servicios (IDITS) y en conjunto con la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN) llevó a cabo la tercera jornada de trabajo para exponer las consecuencias y aplicaciones de la Nanotecnología sobre el sector vitivinícola. En dicha oportunidad, se dieron a conocer los avances en el desarrollo de un inmunosensor portátil que puede aplicarse en la determinación de ocratoxina A (OTA). La OTA es una toxina originada por hongos del género *Aspergillus* que presenta propiedades carcinógenas, nefrotóxicas, teratógenas, inmunotóxicas y posiblemente neurotóxicas y que puede aparecer como contaminante de diversos cultivos. El vino es uno de los productos en los cuales se han constatado concentraciones excesivamente altas de OTA, a tal punto que la Unión Europea ha fijado un límite máximo permitido de 2 microgramos/litro. Desde una perspectiva tanto sanitaria como comercial, la detección y el control rápidos de la OTA son de suma importancia para la industria vitivinícola. El dispositivo nanotecnológico desarrollado en Argentina es un sistema electrónico miniaturizado que puede detectar la presencia de OTA en vinos favoreciendo su tratamiento precoz. Asimismo, los nanotecnólogos argentinos están desarrollando un proyecto llamado *Nanotoxiwine* que tiene como objetivo generar nanopartículas que puedan ser aplicadas en enología para evitar la contaminación del vino por agentes microbiológicos.

Nanotecnología aplicada a la preservación del medio ambiente

En el contexto actual, se hace necesario desarrollar proyectos que tengan en cuenta el desarrollo sustentable así como la preservación del medio ambiente y de la biodiversidad. El consumo desproporcionado se ha convertido en una amenaza para la calidad de vida a partir de la destrucción que ha ocasionado en múltiples ecosistemas. Desarrollar alternativas tecnológicas que permitan dar respuesta a las demandas de las sociedades actuales sin tener consecuencias dañinas sobre el medio ambiente resulta de capital importancia para la continuidad de la vida. Del mismo modo, los procedimientos de saneamiento ambiental permitirían a los ciudadanos acceder a una mejor calidad de vida, preservando la salud y previniendo las enfermedades.

Agua que has de beber...

El agua es indispensable para el mantenimiento de la vida. La cantidad de agua dulce que existe en la Tierra es limitada y su calidad está constantemente amenazada por la actividad humana. La conservación de la calidad del agua dulce se encuentra entre las problemáticas más significativas que afectan a la preservación del medioambiente, ya que puede verse comprometida por la presencia de agentes infecciosos, productos químicos tóxicos o radiaciones.

La nanotecnología posibilita recuperar agua a partir de la utilización de filtros físicos con poros de escala nanométrica que permiten la eliminación eficiente de microorganismos infecciosos. Así, el agua filtrada puede ser utilizada para la agricultura, la limpieza e incluso el consumo humano.

Aunque los océanos y mares contienen alrededor del 97% del agua existente sobre la Tierra, en la actualidad apenas un 1% del suministro mundial de agua potable proviene del agua desalada. En junio de 2012, investigadores del Instituto de Tecnología de Massachusetts presentaron un proyecto a través del cual sería posible desalinizar el agua de océanos y mares utilizando filtros con nanoporos de grafeno. Estos filtros serían capaces de filtrar la sal del agua a una velocidad dos o tres veces superior a la de la ósmosis inversa, la tecnología más eficiente de desalinización comercial que existe en la actualidad. La eficacia de la desalinización se relaciona directamente con el tamaño de los poros y la presión aplicada. El requisito que presenta este proyecto para poder ser implementado de forma generalizada es la fabricación de grafeno a gran escala de forma sencilla y económica.

Durante el Encuentro Científico Internacional de Verano, realizado en Perú en el año 2012, se presentó un proyecto que propone atrapar a los elementos contaminantes presentes en el agua mediante la aplicación de nanopartículas de goma. Estas nanopartículas se obtendrían mediante tratamiento nanotecnológico de llantas neumáticas en desuso. Las investigaciones han demostrado su eficacia en la eliminación de metales pesados (como cobre, plomo y cadmio) y de compuestos relacionados con la actividad de estaciones de gas y de lavanderías (como etilbenceno, tolueno y xileno). Por otra parte, también pueden ser utilizadas para absorber medicamentos eliminados por las heces de los animales. El hecho de utilizar neumáticos en desuso, que habitualmente son reciclados en un porcentaje mínimo, representaría una solución para la problemática de su eliminación, evitando los procesos de quema y la liberación de contaminantes al ambiente.

En febrero de 2013, un grupo de investigadores de la Universidad Ruhr, ubicada en la ciudad de Bochum, Alemania, que trabajan de forma colaborativa con científicos de siete países, presentó un proyecto que tiene como objetivo desarrollar un fotocatalizador con capacidad para remover contaminantes del agua. Un fotocatalizador es una sustancia que, activada por la luz, tiene la capacidad de acelerar la velocidad de una reacción química. Para este desarrollo, los investigadores combinaron materiales nanoestructurados con partículas semiconductoras capaces de absorber luz solar. El objetivo de este proyecto apunta a integrar el nuevo fotocatalizador dentro de una pintura líquida con la cual pueda ser cubierto un fotorreactor⁹. La fotocatalisis se propone como uno de los mecanismos más eficientes y más económicos para purificar el agua. Actúa a través de un mecanismo por el cual la luz solar y el oxígeno generarían condiciones de oxidación bajo las cuales las sustancias tóxicas se transformarían perdiendo su capacidad de causar daño. Este tipo de dispositivo podría utilizarse para descontaminar agua en zonas rurales o periféricas.

Protegerás tu siembra

El desarrollo sustentable incluye también a las diferentes prácticas agrícolas. En este sentido, en agosto de 2012 una joven empresa colombiana presentó un proyecto para mejorar la efectividad de los fertilizantes utilizados en la agricultura y el aprovechamiento de los recursos. El proyecto se llama sistema de transporte

⁹ Un fotorreactor es una instalación preparada para que, al entrar en contacto con la luz, se produzcan reacciones químicas en su interior

coloidal (STC) y consiste en el desarrollo a nanoescala de pequeños cuerpos esféricos llamados nanoglóbulos. Estos nanoglóbulos encapsulan y protegen a los nutrientes que contienen los fertilizantes hasta el momento en que entran en contacto con la raíz o con las hojas de una planta, aumentando su biodisponibilidad. De esta manera, la implementación de este desarrollo nanotecnológico permitiría disminuir la cantidad de fertilizante aplicado hasta un 20%, con las consecuentes repercusiones beneficiosas tanto económicas como ambientales.

Cuidando a Mater Natura

La remediación ambiental hace referencia al conjunto de procesos que tiene como objetivo restituir el equilibrio natural de aquellos ecosistemas que han sido perturbados por la actividad humana, de modo que puedan alcanzar características que provean una calidad de vida saludable. En este aspecto, la nanotecnología vuelve a mostrarse como esa estrella capaz de modificar el curso de las cosas, ofreciendo alternativas eficientes para remediar el medioambiente.

Las nanopartículas de hierro pueden ser utilizadas con resultados satisfactorios en la degradación de compuestos potencialmente tóxicos como el tricloroetileno, hidrocarburos aromáticos clorados e hidrocarburo de petróleo. El perclorato es un contaminante habitual del agua que puede ser removido y destruido mediante la utilización de nanopartículas de hierro. La evidencia científica proveniente de diferentes trabajos de investigación demuestra que los nanomateriales metálicos también son efectivos en el tratamiento de los residuos líquidos provenientes de la actividad minera.

En el año 2009 la empresa argentina Nanotek SA presentó un desarrollo tecnológico novedoso que propone la nanorremediación de arsénico en aguas para consumo humano. El proyecto aspira a resolver un problema sanitario que afecta mayoritariamente a poblaciones rurales y de bajos recursos que consumen agua de pozo con altas concentraciones de arsénico. Esta condición aumenta las probabilidades de desarrollar enfermedades cancerígenas en piel y huesos. La propuesta de Nanotek SA está basada en el comportamiento de nanopartículas de hierro cerivalente (5 a 50 nanómetros) en presencia de luz ultravioleta solar o artificial. Esta reacción da como resultado una oxidación eficiente del arsénico que disminuye su capacidad cancerígena y le permite ser absorbido por el hierro y retirado por atracción magnética. Además, la luz ultravioleta agrega un efecto antibacteriano extra.

En agosto de 2013, investigadores de la Universidad de Tarbiat Modares, en Teherán, Irán, dieron a conocer el desarrollo de un nuevo tipo de filtro con evidencias de ser eficaz en la absorción de sustancias contaminantes potencialmente peligrosas. Entre ellas, se mencionan el yodo y el rojo Congo (un colorante utilizado frecuentemente en la industria farmacéutica y en diversas aplicaciones médicas). El filtro fue desarrollado utilizando un método simple y ecológico que combina materiales nanoestructurados con la utilización de microondas. De esta manera, se ha logrado producir un nanofiltro que puede aportar grandes beneficios en la industria de la purificación del agua, con repercusiones a nivel de la preservación del medio ambiente.

El avance de las actividades agrícolas está produciendo consecuencias desfavorables diversas sobre el equilibrio ecológico de grandes regiones del mundo, haciendo sentir sus efectos de forma global. La tala de árboles para ampliar las superficies cultivables, el consecuente desplazamiento de especies animales en busca de hábitats que den respuestas a sus necesidades, las modificaciones sufridas en los suelos a partir de las exigencias de los cultivos, la toxicidad de los pesticidas utilizados para combatir a las plagas que atentan contra el rendimiento de las cosechas y el daño mecánico sufrido por los terrenos a partir de las maquinarias utilizadas en las actividades agrícolas se integran en una problemática compleja que amenaza con certeza y en un plazo inmediato las condiciones medioambientales de nuestro planeta.

La nanotecnología puede ofrecer alternativas para limitar los efectos generalizados de los pesticidas permitiendo desarrollar nanopesticidas o pesticidas inteligentes. Los pesticidas inteligentes consisten en nanocápsulas formadas por polímeros que han sido modificados para que se adhieran selectivamente a aquellos sectores de las plantas que necesitan ser protegidos. Estas nanocápsulas se mantienen inactivas hasta que la plaga ataca a la planta. En ese momento, la plaga consume las nanocápsulas, las cuales son activadas por sus jugos digestivos produciendo su destrucción. De esta manera, los nanopesticidas ofrecen un sistema de liberación controlada que limitaría sus efectos a los microorganismos que se desea eliminar minimizando los efectos colaterales, como la contaminación de los productos agrícolas y la persistencia en los suelos.

Nanotecnología aplicadas a la producción de alimentos

De la misma manera en que la nanotecnología promete poner a nuestro alcance respuestas novedosas en el campo de la salud y de las diferentes actividades industriales, también se propone como una herramienta efectiva en el proceso de producción y conservación de alimentos.

Dime lo que comes y te diré quién eres

La utilización de nanomateriales, nanotécnicas o herramientas nanotecnológicas en el cultivo, producción, procesamiento o envasado de productos alimentarios da origen a los nanoalimentos, productos que estarán disponibles en nuestras mesas en un futuro cercano.

El universo de los nanoalimentos se presenta como una lámpara de Aladino que puede hacer realidad los deseos de todos los que disfrutamos del placer de comer. Así, sería posible pensar en un alfajor que tuviera la misma cantidad de grasa que una manzana o en una hamburguesa que ayudara a disminuir los niveles de colesterol en sangre o en un sistema de envasado que pudiera detectar y destruir cualquier agente extraño capaz de alterar el sabor o malograr un alimento. Los nanoalimentos prometen ofrecer la posibilidad de modificar su composición de acuerdo a los gustos y necesidades nutricionales de los consumidores, ofreciendo mayor seguridad y mejorando la accesibilidad a través de la disminución de costos.

Comprender y manipular las propiedades especiales de los materiales de tamaño nanométrico permitirá a los investigadores que trabajan en el área de la alimentación desarrollar productos que sean más seguros, más saludables y de mejor sabor. El desarrollo de ingredientes que contengan nanopartículas, nanoemulsiones, nanocompuestos y otros materiales nanoestructurados, ofrecerá posibilidades novedosas que generarán consecuencias positivas tanto en la elaboración de productos agroalimentarios como en sus envases. Asimismo, los procesos de producción de alimentos también se verán modificados a partir de la incorporación por nuevos métodos derivados de la nanotecnología y de la ingeniería basada en nanorreacciones. Del mismo modo, la utilización de nanosensores y nanodispositivos aportarán mejorías significativas en la seguridad y trazabilidad de los alimentos.

Así, en un sentido amplio, se consideran nanoalimentos a aquellos que son obtenidos a partir de la aplicación de la nanotecnología con el objetivo de mejorar

su seguridad, optimizar sus propiedades nutricionales, reproducir sabores agradables y disminuir costos.

En la actualidad, la industria agroalimentaria está ensayando la aplicación de herramientas nanotecnológicas en diversas áreas con objetivos variados:

- aplicación de nanoelementos en el envasado de alimentos: se está desarrollando un nuevo tipo de goma espuma biodegradable con propiedades térmicas superiores a las actuales que podría utilizarse para la conservación de alimentos preparados. De igual modo, el desarrollo de nanomateriales permitiría envasar cerveza en botellas de plástico (lo cual no es posible actualmente).
- utilización de nanotubos de carbono y nanomembranas: los nanotubos pueden generar materiales de altísima dureza, logrando una resistencia por unidad de peso entre diez y cien veces superior al acero. Estos materiales tienen una aplicación potencial en el diseño de sensores que las empresas agroalimentarias podrían utilizar para asegurar la trazabilidad de sus productos.
- vehículos de transmisión: las nanopartículas y nanoesferas ofrecen ventajas significativas en los procesos de encapsulación. Estos elementos podrían encontrar una aplicación efectiva en la industria agroalimentaria para evitar las alergias alimentarias.
- nanoherramientas para bioseguridad: herramientas realizadas a nanoescala puede ser aplicadas en el desarrollo de sensores biológicos capaces de detectar la presencia de microorganismos potencialmente dañinos en los productos alimentarios y evitar así la propagación de enfermedades

Hecho para durar

Nanobiomatters es una empresa española dedicada a la incorporación de nanotecnología para lograr el desarrollo de materiales susceptibles de ser aplicados en áreas industriales diversas. En la actualidad, su línea de Investigación y Desarrollo se encuentra trabajando en diversos proyectos que prometen resultados beneficiosos para la industria agroalimentaria. Entre estos proyectos, se destacan las nanoarcillas que pueden ser utilizadas como aditivos para elaborar envases con propiedades de alta barrera aptos para uso alimenticio: estos envases tienen la capacidad de prolongar la vida útil del producto envasado sin modificar sus propiedades. Esta capacidad se debe a que ofrecen protección frente a la luz ultravioleta y un comportamiento más eficiente ante la humedad.

Del mismo modo, el desarrollo de películas nanométricas multicapas o nanorecubrimientos realizados a partir de materiales poliméricos se presenta como una innovación prometedora para la conservación de las propiedades de los alimentos frescos, como frutas y verduras. Los nanorecubrimientos podrían evitar la pérdida de agua y retrasar el proceso de descomposición, prolongando de esta manera su vida útil.

Otra aplicación de la nanotecnología en la industria alimentaria está relacionada con el desarrollo de nanogeles termosensibles que puedan ser incluidos en los envases plásticos utilizados en la industria alimentaria. Estos nanogeles podrían ser programados para activarse en función de la temperatura a la que estén sometidos y, de esta manera, prolongar su vida útil sin alterar sus propiedades. La incorporación de este desarrollo nanotecnológico daría como resultado la elaboración de envases activos e inteligentes.

Nada que perder

Los aceites esenciales son sustancias lipídicas de origen vegetal que se presentan en estado líquido, con propiedades aromáticas y volátiles. Los aceites esenciales son ricos en componentes bioactivos como los terpenoides y los ácidos fenólicos, los cuales presentan propiedades antibacterianas y antifúngicas. Sin embargo, y debido a su capacidad de volatilizarse, estas propiedades beneficiosas pueden perderse durante los procesos de elaboración de alimentos o productos nutraceuticos¹⁰ que contienen aceites esenciales. Para evitar que esto suceda, un grupo de investigadores ha intentado modificar la estabilidad de los aceites esenciales sometidos a cambios de temperatura, de presión, de intensidad luminosa o de concentración de oxígeno utilizando tecnología de nanoencapsulación. Los ensayos demostraron que, mientras los aceites esenciales no encapsulados eran degradados a temperaturas de 196°C, la nanoencapsulación elevaba la temperatura de degradación a 344-358°C. Estos resultados permiten predecir una mejor conservación de las propiedades beneficiosas de los aceites esenciales nanoencapsulados en los productos que lo contienen con su consecuente aprovechamiento por parte de los consumidores.

El enriquecimiento nutricional de ciertos alimentos a partir de aplicaciones nanotecnológicas encuentra otro buen ejemplo en el desarrollo de nanopartículas

que contienen sustancias antioxidantes. Los antioxidantes son compuestos que tienen como función primordial proteger a las células de los efectos dañinos de una serie de compuestos llamados radicales libres que juegan un papel destacado en los fenómenos de envejecimiento celular. La ingesta de antioxidantes podría tener un efecto protector a este nivel. Algunos de estos compuestos son degradados en el tubo digestivo disminuyendo así la cantidad que llega efectivamente a la sangre y es capaz de ejercer su efecto. Las nanocápsulas ofrecen una alternativa eficiente para incorporar sustancias antioxidantes a los alimentos de consumo habitual y optimizar su absorción. De esta manera, se obtendrán regímenes alimentarios más ricos en elementos beneficiosos como hierro, zinc, coenzima Q10 y ácido grasos omega 3 y 6.

Para el paladar más exigente

En relación a los beneficios que la nanotecnología puede depararle a la industria agroalimentaria que utiliza aceites, es interesante comentar el proyecto de una panificadora australiana que está desarrollando nanocápsulas que contienen aceite de pescado, muy recomendado por su alto contenido de ácidos grasos omega 3. Los ácidos grasos omega 3 tienen efectos beneficiosos sobre el aparato cardiovascular, las funciones del sistema nervioso, la respuesta inflamatoria y otras funciones biológicas. Estas sustancias deben ser incorporadas a través de la alimentación ya que el organismo es incapaz de producirlas. El sabor desagradable de estos compuestos limita su incorporación a alimentos incluidos en el hábito dietético cotidiano. La utilización de nanocápsulas permitiría que el aceite de pescado, ingerido en forma conjunta con los productos de panificación, sea liberado en el estómago, evitando así que su sabor sea percibido por los consumidores.

Una vez más, la varita mágica de la nanotecnología promete hacer realidad el deseo de muchos: poder enriquecer los alimentos con sustancias beneficiosas sin que esto altere sus propiedades organolépticas, es decir, el gusto, el olor, el color y la textura.

Así, el paladar se transforma en una estructura que también podrá disfrutar las consecuencias de aplicar desarrollos nanotecnológicos a la elaboración de alimentos y productos similares. Un proyecto de investigación está evaluando la posibilidad de producir nanobebidas programables, las cuales carecen de sabor o de olor. Estas bebidas contendrían nanocápsulas con múltiples sabores y olores que se irían manifestando conforme la bebida alcance ciertos niveles de temperatura.

¹⁰ El término nutraceutico hace referencia a aquellos alimentos o componentes de alimentos que proporcionan efectos beneficiosos sobre la salud, incluyendo la prevención y/o el tratamiento de ciertas enfermedades.

Así, el consumidor no tendría más que calentar la bebida en un horno microondas el tiempo estipulado para obtener el sabor y olor que desee: naranja, frutilla, café.

Que tenga un buen viaje

La complejidad de los procesos de distribución en la comercialización de alimentos puede atentar contra la seguridad de los consumidores, poniendo a su disposición productos que no reúnen las condiciones adecuadas para ser consumidos, ya sea por modificación de sus propiedades organolépticas o por la presencia de procesos de descomposición que pueden volverlos nocivos. En este sentido, se están ensayando diversos desarrollos nano-tecnológicos que ofrecen la capacidad de alertar a los consumidores sobre diversas situaciones, entre las cuales vale la pena destacar:

- tiras electrónicas que contienen nanosensores altamente sensibles a la eliminación de gases por parte del alimento en mal estado. La emisión de gases provocaría un cambio de color en la tira que le permitiría al consumidor saber si el alimento es fresco o no. Estos dispositivos estarían incluidos en los envases de los alimentos
- nanosensores comestibles, similares a un holograma, que cambian de color indicando la presencia de microorganismos y la contaminación de frutas y verduras
- anticuerpos adheridos a nanopartículas fluorescentes capaces de detectar la presencia de microorganismos que pueden ocasionar enfermedades o sustancias químicas potencialmente tóxicas
- nanosensores electroquímicos capaces de detectar la presencia de etileno. El etileno es una hormona producida por muchas plantas comestibles (por ejemplo, naranja, banana, kiwi, palta) a medida que se acercan a la madurez, lo que produce la maduración de sus frutos. Cuando la planta madura en su entorno natural, el etileno se volatiliza y desaparece en el medio ambiente, pero cuando la maduración se produce en ambientes comerciales o domésticos, el etileno queda atrapado, acelerando el proceso de maduración y provocando la descomposición precoz de las frutas. Los nanosensores permitirían la detección precoz del etileno y alertarían sobre el inicio de la degeneración de los alimentos

Algunas cuestiones que merecen reflexión

Más allá de los múltiples beneficios que puede traer la aplicación de nanotecnología en la industria agroalimentaria es importante tener en cuenta que, después de todas las controversias generadas por la producción de alimentos genéticamente modificados (transgénicos) y sus posibles efectos nocivos sobre la salud individual y sobre el equilibrio ecológico global, los nanoalimentos pueden constituirse como otra problemática controvertida que demandará regulaciones estrictas y controles rigurosos para demostrar una relación costo-beneficio favorable.

Ante la circulación de información proveniente de fuentes diversas, muchos profesionales de la salud han manifestado ciertos interrogantes sobre algunas consecuencias no deseadas que puede traer aparejada la aplicación de nanotecnología a la industria agroalimentaria.

Una de las cuestiones a definir es la posibilidad de que los nanodispositivos, debido a su tamaño tan pequeño, puedan ser absorbidos a través del tubo digestivo, la piel o el aparato respiratorio, alcanzar la sangre y distribuirse de forma generalizada por el organismo pudiendo desencadenar reacciones tóxicas y/o alérgicas. Algunos profesionales han sido un poco más específicos en sus reparos manifestando la necesidad de evaluar el impacto de los nanoalimentos en la incidencia de enfermedades autoinmunes como la enfermedad inflamatoria intestinal.

Paradójicamente, el hecho que haría posible este tipo de situaciones es el mismo que le da a los nanodesarrollos sus propiedades extraordinarias: el tamaño. La funcionalidad del sistema inmune muestra una eficacia menor en la remoción de moléculas de pequeño tamaño. Además, los nanodesarrollos presentan mayor adhesividad que elementos de mayor tamaño, lo que incrementa el tiempo de contacto con las distintas superficies.

Actualmente, se considera que los nanodesarrollos empleados en la elaboración y conservación de alimentos entrañan los siguientes riesgos:

- tienen mayor reactividad química que los elementos de mayor tamaño por lo que pueden combinarse con distintos componentes celulares y provocar reacciones no deseadas
- tienen mayor accesibilidad a los tejidos y a las células que los elementos de mayor tamaño

- pueden generar mayores riesgos de toxicidad por su alta biodisponibilidad¹¹ y bioactividad¹²
- pueden provocar alteraciones en la respuesta del sistema inmune
- pueden tener efectos nocivos a largo plazo constituyéndose en un factor de riesgo para el desarrollo de enfermedades

Usos responsables de la nanotecnología

En estas páginas hemos intentado pasar revista a las innumerables formas bajo las cuales la nanotecnología podría pasar a formar parte integrante de nuestra vida cotidiana en un futuro cercano. Sin embargo, desde el paradigma científico actual, no puede pasar inadvertido que el concepto de ciencia neutral es una falacia y que todo desarrollo científico-tecnológico tiene impactos favorables y desfavorables sobre la calidad de vida de las personas, así como habilita campos de utilización que pueden ser funcionales a intereses diversos que no siempre contribuyen al bien común.

El concepto de paradigma fue introducido por Thomas Kuhn en su libro “La estructura de las revoluciones científicas”, publicado en 1962. El término hace referencia al conjunto de creencias, valores metodológicos y supuestos teóricos compartidos por una comunidad científica y que es concebido como una forma nueva y aceptada de resolver un problema en la ciencia, que será utilizada como modelo para la investigación y la formación de una teoría. En la actualidad, existe acuerdo en considerar que la ciencia, como resultado de la actividad humana, no admite la condición de neutralidad. El desarrollo y la aplicación del conocimiento científico se encuentran ante un nuevo modelo que vincula a la ciencia con intereses económicos transnacionales y alimentados por motivaciones económicas a escala individual. La teoría de la relatividad planteada por Einstein, el principio de incertidumbre propuesto por Heisenberg, el sesgo del investigador en tanto

11 La biodisponibilidad se relaciona con el porcentaje de la dosis administrada que alcanza el sitio de acción y es capaz de ejercer un efecto

12 La bioactividad hace referencia la capacidad de un elemento de interactuar químicamente con las células y/o tejidos de un organismo

subjetiviza el objeto de conocimiento y los intereses de quienes financian el proceso de desarrollo científico son algunos de los argumentos que hoy sostienen el concepto de ciencia como un saber hacer cargado de implicaciones sociales, políticas y éticas.

Como en muchas otras situaciones, la ciencia avanza a una velocidad mayor a la que lo hace el Derecho y si bien la nanotecnología ocupa hoy un lugar de privilegio en la agenda científica y económica de muchos países, la regulación de sus aplicaciones continúa siendo un gran interrogante.

En nuestro país, no hay documentos jurídicos que regulen el desarrollo y la aplicación de elementos nanotecnológicos. Aunque la nanotecnología constituye una de las áreas explícitas de investigación y desarrollo del Estado argentino, a nivel jurídico es mencionada solamente en los siguientes documentos:

- *Ley nacional 26338 -2007: Ley de Ministerios*: artículo 23: “competente al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva..... entender en la formulación y ejecución de planes, programas, proyectos y en el diseño de medidas e instrumentos para la promoción de la ciencia, la tecnología y la innovación; en particular en el impulso y administración de fondos sectoriales en áreas prioritarias para el sector productivo o en sectores con alto contenido de bienes públicos, en coordinación con los Ministerios con competencia específica. Administrar los existentes en materia de promoción del software con los alcances del régimen del artículo 13 de la Ley N° 25.922, en la de promoción de la biotecnología moderna en lo que respecta al fondo creado por el artículo 15 de la Ley N° 26.270, y de promoción de la nanotecnología a través de la Fundación de Nanotecnología —FAN— (Decreto N° 380/05).
- *Decreto 380/2005- Poder Ejecutivo Nacional*: se autoriza la creación de la Fundación Argentina de Nanotecnología
- Más allá de esto, no existen documentos jurídicos que ofrezcan un marco formal para el desarrollo, aplicación y utilización de la nanotecnología en nuestro país. No se han designado autoridades de control, ni legislación que determine derechos y obligaciones, precauciones, límites, usos racionales o dispositivos de seguridad. Debido a la magnitud que han tomado los desarrollos nanotecnológicos en la actualidad y a la amplia diseminación que se espera en un futuro cercano, sería deseable que el Derecho tome conocimiento de esta nueva realidad y se apronte a sancionar un marco jurídico apropiado

que actúe como garante del desarrollo científico - tecnológico en pos de una mejor calidad de vida.

- Una mirada amplia del estado de la nanotecnología a nivel mundial permite apreciar cómo se adaptan los elementos regulatorios de diferentes países del mundo para darle contexto jurídico al avance del mundo *nano* en la vida cotidiana:
- en Estados Unidos, la *Food and Drug Administration* (FDA) es el organismo encargado de regular la producción y comercialización de una amplia variedad de productos: alimentos, cosméticos, medicamentos, productos de uso veterinario, etc, muchos de los cuales pueden utilizar o contener nanotecnología. La FDA considera que los cambios en las propiedades biológicas y químicas que vuelven a la nanotecnología un desarrollo con amplio potencial de aplicación merecen ser examinados cuidadosamente para determinar los efectos sobre la seguridad, efectividad y otros atributos de los productos. En este sentido, FDA ha presentado dos documentos que tienen como objetivo regular la aplicación de nanotecnología en la industria alimentaria (Draft Guidance for Industry: food ingredients) y en la industria cosmética (Draft Guidance for Industry: safety of nanomaterials in cosmetic products). Asimismo, desarrolla una serie de programas tendientes a monitorear estrechamente los avances de la nanotecnología en diversas áreas: medicamentos, alimentos, tecnología médica, medicina veterinaria, toxicología, asuntos regulatorios
- en la Unión Europea (UE), la *European Medicines Agency* (EMA) es responsable de la evaluación científica de los productos medicamentosos desarrollados por la industria farmacéutica que van a ser utilizados en los países miembros de la UE. Para la EMA, el desarrollo de medicamentos a través de la aplicación de herramientas nanotecnológicas innovadoras representa un desafío que incluye revisar los marcos regulatorios vigentes para determinar su pertinencia así como los requerimientos bajo los cuales los medicamentos son evaluados y monitoreados. En el año 2009, EMA creó un *Grupo de Expertos* en Nanomedicinas que reúne a personalidades académicas y a representantes regulatorios de los diferentes países miembro, quienes proveen opiniones especializadas sobre los nuevos conocimientos científicos e intervienen en la revisión de las guías de procedimientos para la aplicación de nanotecnología en la elaboración de nanomedicinas. En el año 2010, la agencia organizó el *Primer Simposio Internacional sobre Nanomedicinas*. En el año 2011, se comenzaron a desarrollar una serie de *Documentos para la Reflexión sobre Nanomedicinas* con la intención de proveer lineamientos de acción para

los laboratorios farmacéuticos avocados a la investigación y el desarrollo de nanodrogas. Estos documentos abordan tanto el desarrollo de nuevos nanomedicamentos como el desarrollo de nanosimilares, ya que las patentes de la primera generación de nanomedicamentos (incluyendo fórmulas con liposomas, preparados con nanopartículas de hierro y medicamentos basados en nanocristales) había comenzado a expirar. En mayo de 2013, EMA publicó un reporte especial en el que describe sus iniciativas en relación al desarrollo y evaluación de nanomedicinas y nanosimilares. En este documento se pone de manifiesto el compromiso que las autoridades regulatorias deben asumir para que el ingreso al mercado farmacéutico de los futuros nanomedicamentos respete las condiciones de eficacia y seguridad que demanda el bienestar de la población

- Dentro del campo jurídico, otro gran interrogante que sobrevuela la cabeza de los nanotecnólogos está referido a la propiedad intelectual de los desarrollos nanotecnológicos, a la posibilidad de patentarlos y a la protección de los derechos de invención. En este sentido, cabe mencionar la posición de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), que es el organismo del sistema de organizaciones de las Naciones Unidas (ONU) dedicado al uso de la propiedad intelectual (patentes, derechos de autor, diseños, marcas) como medio para estimular la innovación y la creatividad. De acuerdo a sus lineamientos, la OMPI establece que desarrollos nano-tecnológicos podrían obtener protección por patente, siempre y cuando cumplan las condiciones pertinentes de patentabilidad, aunque es necesario tener en cuenta una serie de cuestiones, entre las que destacan las siguientes:
- las reivindicaciones admitidas son demasiado amplias, al igual que sucede con otras tecnologías emergentes. Este hecho se debe a la ausencia de estado de la técnica anterior y puede permitir al titular de la patente bloquear áreas tecnológicas demasiado amplias. En este contexto, también se observa el riesgo de otorgar patentes que se superpongan entre sí
- en lo referente a las condiciones generales de patentabilidad, puede surgir la cuestión de saber si la reproducción a nanoescala de un producto o estructura conocido cumpliría el requisito de la novedad o de la actividad inventiva
- también es importante analizar si los derechos de una patente otorgada para un producto sin especificar el tamaño de la invención podría considerarse violada a raíz de una invención nanotecnológica equivalente, o si el inventor

de esa invención podría basarse en dicha patente para exigir regalías¹³

Como se puede concluir, hay un terreno vasto de cuestiones sin definir que plantean múltiples incógnitas sobre la integración de la nanotecnología a nuestra vida cotidiana. Más allá de la continuidad de los procesos de investigación tendientes a demostrar la eficacia y las posibilidades de aplicación de esta nueva dimensión de la materia, los aspectos referidos a la propiedad intelectual, la seguridad a corto y largo plazo y la regulación de su comercialización constituyen grandes vacíos jurídicos que deberán ser abordados cuanto antes.

El futuro se acerca con más prisa de la que pensamos y promete regalarnos una realidad que tiene muchos parecidos con algunas historias clásicas de la literatura fantástica o de la ciencia ficción. La nanotecnología se presenta como la llave que va a permitirnos entrar a un mundo construido en una dimensión nueva, extraña, desconocida, que puede resultarnos infinitamente valiosa. Seamos generosos con su ofrecimiento y recibámosla de la mejor manera: disfrutando de todas sus cosas buenas sin abusos ni negligencias.

¹³ Regalía: beneficio que se paga al propietario de un derecho a cambio del uso que se hace de él.

CAPÍTULO VI

Nanotecnología en Argentina

Luis Ricardo Soria

Política de estado

Argentina cuenta con una política destacable en cuanto a establecer a las N y N (Nanociencia y Nanotecnología) como ejes de una revolución productiva a concretarse en el corto plazo. Un esfuerzo denodado y una intencionalidad expresa de posicionarnos en el contexto internacional son la causa de fuertes impulsos de los sectores científico y tecnológico, buscando optimizar el uso de los recursos disponibles y ofrecer soluciones que mejoren la calidad de vida de la población¹.

Nuestro país asume un fuerte compromiso en el fomento de grupos de investigación y desarrollo de empresas en nanotecnología. Desde el año 2005, paulatinamente, se vienen desarrollando incipientes estrategias para insertar las N y N dentro de la estructura productiva de nuestro país. Desde el 2005 también, las publicaciones en nanotecnología aumentaron significativamente gracias al apoyo de organismos gubernamentales².

Existen muchas líneas de investigación y desarrollo (cuyas siglas son I+D), producto de la inversión en proyectos y formación de recursos humanos en N

1 Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva - Secretaría de Planeamiento y Políticas (2012) "Empresas y Grupos de I+D de Nanotecnología en Argentina".

2 Vila Soane (2011). Tesis de Maestría "Nanotecnología: Su desarrollo en Argentina, sus características y tendencias a nivel mundial"

y N. En este sentido, se destacan los proyectos FONARSEC (Fondo Argentino Sectorial) que están destinados a unir empresas con investigadores académicos, para transferir los conocimientos generados a partir de la nanociencia a productos concretos³. Los antecedentes más importantes para la constitución de redes financiadas de Nanotecnología fueron la Convocatoria 2004 del Programa de Áreas de Vacancia (PAV) y los Proyectos de Áreas Estratégicas (PAE) 2006 y 2008 que ofrecieron financiamiento para constituir los recursos humanos y el equipamiento básico del sistema.

Asimismo, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva ha presentado el Plan Nacional Argentina Innovadora 2020, en el que se especifican las políticas y objetivos estratégicos a seguirse a largo plazo, con la idea de que las mismas se constituyan en una política de estado y no de un gobierno en particular.

Como experiencia enriquecedora podemos comentar que en el año 2010 se realizó una convocatoria de proyectos por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, para constituir Consorcios Asociativos Público - Privados (CAPP) que desarrollen productos de nanotecnología. Se seleccionaron 8 proyectos con un financiamiento total de más de 100 millones de pesos entre fondos públicos y privados.

El rumbo que Argentina establece en cuanto a políticas de generación de recursos nacionales, se orienta a que se produzca transferencia desde investigación básica a investigación aplicada, generando productos comercializables útiles para la población de nuestro país o que puedan ser exportados. Es importante destacar que la transferencia de ciencia a tecnología tiene un impacto positivo en la cadena de valor.

A continuación se incluye una aproximación FODA en el que analizamos las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas tiene la nanotecnología en nuestro país.

Fortalezas: existe una red interconectada de científicos pertenecientes al sistema universitario y organismos de investigación y desarrollo, y políticas muy claras para impulsar el sector.

Oportunidades: desarrollar líneas de I+D que nos posicionen como referentes a nivel local y global. Existen numerosos sectores que demandan soluciones que pueden ser provistas por desarrollos nanotecnológicos, viabilidad en estos desarrollos y demandas desde el mercado.

Debilidades: pocos recursos humanos formados, poca difusión y conocimiento por parte de la sociedad acerca de los beneficios de la nanotecnología.

Amenazas: posibles efectos perjudiciales y contraindicaciones sobre la salud y el ambiente.

Equipos de Investigación y desarrollo

Tal como se comentó anteriormente, existen numerosos desarrollos en nanotecnología en nuestro país, tanto desde el sector público como desde el sector privado. Los equipos de investigación y desarrollo, buscan, en general, generar nuevos conocimientos en cuanto a nanociencia (investigación básica) y también realizar transferencias hacia desarrollos tecnológicos (investigación aplicada) que puedan ser producidos y comercializados. Estos desarrollos tecnológicos pueden estar basados en aplicaciones nanotecnológicas específicas o en algún producto que utilice nanotecnología.

De acuerdo al informe realizado por la Secretaría de Planeamiento y Políticas del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación⁴ durante el año 2012, podemos determinar cuáles son las líneas de trabajo desarrolladas por los grupos de investigación y las empresas privadas en Argentina. En este documento se describe el estudio realizado para recabar información a través de una encuesta y luego sistematizarla, se definen cuáles son las políticas públicas respecto a nanotecnología y cuáles son las dificultades que se deben superar.

Los centros más importantes en este campo son la Universidad de Buenos Aires, la Universidad Nacional de la Plata en el que se encuentra el INIFTA (Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas), la CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica), la Universidad Nacional de Córdoba y la Universidad Nacional de Mar del Plata. Las líneas de investigación más destacadas que se están trabajando son: nanopartículas, nanomateriales, superficies y films. Las áreas de aplicación de los desarrollos en nuestro país son:

1. Salud humana y veterinaria
2. Energía y medio ambiente
3. Alimentos

3 Secretaría de Planeamiento y Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (2013) "Casos de asociatividad e innovación · Año 1 · N° 1- Nanotecnología"

4 Secretaría de Planeamiento y Políticas del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación (2013) Empresas y Grupos de I+D de Nanotecnología en Argentina

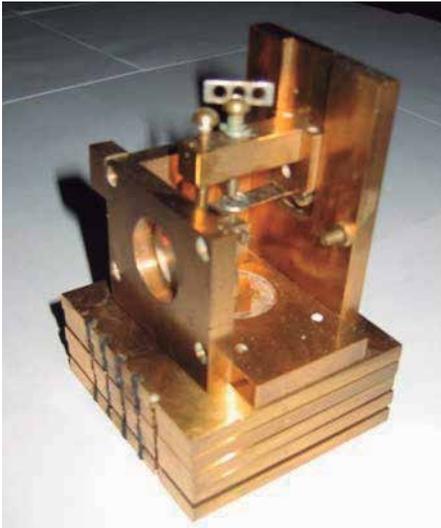
4. Industria
5. Análisis y medidas

Las líneas de investigación son dirigidas por distintos grupos de científicos que conforman redes de interconexión para trabajo mancomunado, constituyendo un entramado a nivel nacional.

Aplicaciones actuales en nuestro país

El Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI tiene una larga trayectoria en el estudio y desarrollo de productos con nanotecnología. A finales de la década del 80, el Dr Joaquín Valdés condujo el grupo que desarrolló el primer microscopio de efecto túnel con resolución atómica de Latinoamérica operado por baterías.

Figura 6.1. Primer Microscopio de Efecto Túnel desarrollado en 1987.



Fuente: www.inti.gov.ar/pdf/inti-nanotecnologia.pdf

En la actualidad el Centro INTI-Procesos Superficiales desarrolló un producto no tóxico, compatible con el medio ambiente y factible de producirse en el país. Se trata de una pintura bio-activa con nano plata coloidal que le otorga características bactericidas, ya que garantiza la inhibición de formación de colonias de bacterias en toda la superficie pintada.

En la Universidad Nacional de Quilmes se están estudiando comportamientos no habituales de nuevos nanomateriales. Se desarrollan partículas inteligentes que producen la liberación controlada de medicamentos con gran especificidad intra y extracelular (órganos). Existe una aplicación mediante el uso de un liposoma transformable que se combina con un fotosensibilizador y se aplica vía tópica (sobre la piel) como una crema, una vez que la piel la absorbe, ésta se dirige a la zona específica y se activa con la exposición al sol generando toxicidad diferenciada sobre la zona afectada tales como tumores de piel. Este complejo mecanismo denominado “el efecto deseado en el sitio justo” es descrito en profundidad en el Capítulo 4.

La apuesta al futuro de estas aplicaciones, es poder construir nanonaves con la capacidad de viajar a través del cuerpo humano y depositar los medicamentos sobre el blanco con una alta eficiencia, convirtiendo en realidad lo mencionado en los capítulos 1 y 2 como “Viaje fantástico”.

Los investigadores Roberto Nicolás Novoa y Miguel Ferrada Gutiérrez de la Universidad Nacional de Quilmes, ganaron en la categoría Investigación Aplicada del Premio Innovar⁵ 2007 por el Proyecto Pangea, que es un aditivo que se agrega al concreto para la cementación de pozos petroleros. Esto permite que se acelere el proceso y que se reemplace al microsílíce que es tóxico y contamina el material particulado.

En la Universidad Nacional de Tucumán se está realizando el Proyecto Nano a cargo del Dr David Comedi y se orienta a la generación eficiente de energía utilizando nanohilos de óxido de zinc. Como resultado de estas investigaciones se busca aumentar la eficiencia de los paneles solares para que se popularicen y reemplacen el uso de combustibles fósiles.

También se trabaja para aprovechar, la presencia del Litio que se encuentra en las minas de la zona de Antofagasta de la Sierra de Catamarca. Este vasto yacimiento podría ser explotado para producir nanobaterías de litio, que poseen un rendimiento mayor que las baterías convencionales y no son contaminantes. Estas podrán ser utilizadas en una nueva generación de vehículos más pequeños y eficientes como automóviles o motocicletas. En la actualidad existe una aplicación de este tipo de baterías por parte de la marca Toshiba llamada Super Charge Ion Battery que se carga en 10 minutos.

5 Concurso Nacional de Innovaciones organizado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

El Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC), el Consejo

Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), el Centro de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de San Martín y las empresas Alloys S.R.L. y Castiglioni, Pes y Cía. integran un CAPP. A partir de bentonitas, que son arcillas de grano muy fino (coloidal) de la Patagonia Argentina, este CAPP desarrolla nanoarcillas mediante modificaciones químicas, físicas y/o biológicas. Estas pueden ser utilizadas en la producción de nuevos materiales poliméricos y en remediación ambiental. Las aplicaciones tecnológicas obtenidas tienen previsto insertarse en los siguientes mercados: automotriz, industria eléctrica, industria minera, galvanoplastia, agricultura, entre otros. A su vez, se prevé diseñar, construir y poner en funcionamiento dos plantas piloto, una destinada a la producción de nanocompuestos poliméricos y otra (con disponibilidad móvil) para la retención de contaminantes orgánicos y metales, previniendo la contaminación de suelos y aguas de sustancias tóxicas o peligrosas.

Como ya se mencionó en el Capítulo 4, existen algunos grupos de investigación de nuestro país que están desarrollando fotocatalisis para destrucción de contaminantes. Mediante una reacción química se provoca la adsorción de moléculas tóxicas sobre la superficie de un óxido. Esta oxidación fotoasistida se puede utilizar para potabilización de agua. El grupo de la investigadora M. Litter de la Comisión Nacional de Energía Atómica demostró que este método puede ser utilizado para el tratamiento de residuos nucleares.

La fotocatalisis heterogénea (FH) se basa en el uso del óxido de titanio (TiO₂). Este es un semiconductor que tiene la bondad de producir la oxidación de materia orgánica, la eliminación por inactivación de bacterias y la transformación de metales tóxicos como el arsénico al ser expuesto a la acción de la luz ultravioleta del sol. Este método, junto a la Remoción de Arsénico por Oxidación Solar (RAOS), tienen como ventaja que son dependientes únicamente de la energía solar y fácilmente aplicables a regiones como las latinoamericanas, con alta incidencia de radiación diurna e intensidades luminosas altas. Estos métodos fueron aplicados con éxito en la provincia de Tucumán. En la localidad de los Pereyra se evaluó el método de tecnología FH para aguas reales y envasadas en botellas, demostrándose la decontaminación bacteriana y de contaminantes en ambos casos. Asimismo se probó el método RAOS en la misma localidad, encontrándose resultados prometedores.

El grupo que dirige el Dr. en Química Galo Soler Illía, premio Konex⁶ 2013 en nanotecnología, perteneciente al Centro Atómico constituyentes de la CNEA, en Buenos Aires, se encuentra dedicado a generar nanomateriales entre los que se pueden mencionar óxidos nanoporosos para ser utilizados como membranas selectivas en la separación o detección de moléculas. Este prestigioso científico se dedica a diseñar y producir nuevos nanosistemas con arquitecturas inteligentes y propiedades a medida, utilizando métodos químicos inspirados en la naturaleza.

Otros científicos que ganaron el premio Konex 2013 son:

- El Doctor en Ciencias Químicas César Barbero, que junto al grupo de materiales avanzados de la Universidad Nacional de Río Cuarto trabaja en polímeros conductores, carbones e hidrogeles, aportando a la química orgánica, fisicoquímica, química combinatoria, química analítica y nanoquímica de materiales.
- El Dr Gustavo Rivas de la Universidad Nacional de Córdoba que se encuentra trabajando sobre Nanobiotecnología, en el área de los sensores electroquímicos dirigidos a la cuantificación de biomarcadores de relevancia. Fue pionero en el país en el estudio de biosensores basados en nanotubos de carbono y de genosensores.
- El Doctor en Física Félix Requejo, que en la actualidad se desempeña como Director del Instituto Nacional de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Formó el primer Laboratorio de Absorción de Rayos X del país y desarrolló una intensa actividad en el área de investigaciones con luz de sincrotrón⁷ en laboratorios de varios países.

Dentro de los grupos destinados a estudiar biosensores y nanochips encontramos diversos trabajos entre los que podemos mencionar el del Dr Pablo Scodeller de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Buenos Aires que en su tesis analiza la fabricación de biosensores y biocátodos para celdas de combustible a partir de multicapas enzimáticas y electrodos enzimáticos. Se destaca también la tesis realizada por el Doctor Eduardo Cortón (2000) acerca del desarrollo y aplicaciones de biosensores enzimáticos microbianos. También reconocemos las publicaciones de Ernesto Calvo y Fernando

⁶ Los premios Konex son distinciones que se entregan a personalidades destacadas de nuestro país.

⁷ Es un acelerador de partículas de órbita cerrada.

Battaglini en INQUIMAE⁸, FCEN, UBA, en sensores de glucosa nanoestructurados, incluyendo nanosensores de glucosa por partícula única. Asimismo, científicos del grupo de la Dra. Elizabeth Jares-Erijman de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA anunciaron el desarrollo de un tipo de sensores de fluorescencia que son esenciales para iluminar objetos diminutos con microscopios específicos y que podrían usarse para la detección precoz del cáncer y otras enfermedades. Es destacable también la labor del Bioingeniero Fabio Guarnieri, que en la Universidad Nacional de Entre Ríos, está desarrollando aplicaciones de nanochips para detectar enfermedades oculares.

En el grupo del Dr. A. Fainstein, del Centro Atómico de Bariloche (CAB) se desarrolla la espectroscopia óptica de nanoestructuras, mediante una técnica de crecimiento o deposición controlada de capas de átomos que originan nuevas propiedades en los materiales, en cuanto al confinamiento de luz y sonido. También se encuentran trabajando con un nuevo campo de investigación denominado *espintrónica* que estudia sistemas multicapas de algunos electrones de espesor que conforman nano estructuras magnéticas artificiales, que cuando se les aplica un campo magnético, varían considerablemente su resistencia. Este fenómeno se conoce con el nombre de Magneto Resistencia Gigante (MRG) y encuentra aplicaciones extendidas en la vida diaria en discos rígidos que pueden almacenar gran cantidad de información.

Nuevo paradigma y nanosatélites

El mundo nano se abre ante nuestros ojos en forma tan esplendorosa que posiblemente imponga un nuevo paradigma en el pensamiento del siglo XXI. En este sentido, dado lo revolucionario de sus adelantos a escala diminuta, el prefijo nano es también utilizado para nombrar desarrollos novedosos y de dimensiones reducidas aunque estas superen el rango de medida de 1 a 100 nm establecido en el capítulo 1. En algunos contextos se generaliza su uso y puede aplicarse a avances tecnológicos diminutos que por su originalidad tienden a transformar lo preestablecido, tal es el caso de los nanosatélites, en los que Argentina también está a la vanguardia.

Figura 6.2. Nanosatélite Manolito.



Fuente: diario elancasti.com.ar

A comienzos del año 2013 se lanzó el primer nanosatélite educativo de Argentina llamado CubeBug 1 y apodado cariñosamente “Capitán Beto” en honor a la famosa canción escrita por Luis Alberto Spinetta. Este satélite no está construido con nanomateriales, sino que fue ensamblado con componentes tan sencillos como los de un teléfono celular, pesa aproximadamente dos kilogramos y su volumen es más pequeño que el de una caja de zapatos. El proyecto fue dirigido por el ingeniero argentino Emiliano Kargieman a través de la empresa Satellogic que se encuentra instalada en la ciudad de Bariloche y financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva en colaboración con el Inva que es una sociedad del estado dedicada a la producción de alta tecnología. Al ser un satélite muy liviano es mucho más accesible en términos económicos que el lanzamiento de un satélite tradicional en una fracción 1000 o 10000 veces menor. Kargieman, quien sostiene que es importante que se democratice el espacio exterior y que deje de ser monopolio de algunas empresas, también intervino en el lanzamiento en noviembre de 2013 del segundo nanosatélite argentino cuyo seudónimo es “Manolito”.

8 Instituto Nacional de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía

Empresas

En cuanto a las empresas del sector privado, el informe realizado por la Secretaría de Planeamiento y Políticas del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación, que se menciona con anterioridad, establece que en el 2011 existía un padrón conformado por 42 empresas dedicadas a nanotecnología, 23 de las cuales respondieron a la encuesta solicitada. Estas producciones nacionales dieron lugar al desarrollo de diversas patentes. Las empresas se encuentran desarrollando productos y servicios dentro de las siguientes especialidades:

- Industria
- Agricultura
- Salud
- Energía y medioambiente
- Alimentos
- Análisis y medidas

Dentro de las empresas que están comercializando productos en Argentina, existen cuatro que se desatan por sus innovaciones:

1. Invap S.E. se dedica a fabricar sensores infrarrojos para satélites.
2. Nanotek S.A. posee una planta en la ciudad de Santa Fe, mediante el proceso de oxidación nanocatalizada con hierro se dedica al tratamiento de diversos compuestos contaminantes, ofrece el servicio de nanorremediación de arsénico en agua para consumo humano.
3. Over S.R.L. está vinculada con INTA y CONICET, se dedica a comercializar productos de escala nanométrica para medicina veterinaria.
4. La empresa Darmex SACIFI se encuentra trabajando en nanomateriales y materiales híbridos para neumáticos.

Futuro

Si bien es imposible predecir el futuro, se prevee uno promisorio para la nanotecnología en Argentina. Si se siguen las recomendaciones de la FAN es esperable un buen desarrollo y aprovechamiento del potencial que representa esta nueva tecnología. Para ello es necesario que aunemos criterios como sociedad y pongamos en la agenda un debate y un compromiso de los distintos sectores involucrados.

En el caso de la salud existen problemáticas insatisfactoriamente resueltas que la nanotecnología puede paliar, como puede ser el caso de la cura del cáncer o el tratamiento de enfermedades.

Es importante que la sociedad argentina tome conciencia acerca de las potencialidades de la nanotecnología. En este sentido, como con el resto de los desarrollos tecnológicos, tenemos que entender que si no incorporamos este tipo de desarrollos a nuestra producción nacional, nos veremos obligados a importarlos desde otros países, con los costos que ello implica.

Existen algunos investigadores que establecen que la nanotecnología protagonizará una nueva revolución tecnológica en este nuevo siglo, impactando fuertemente en el sector productivo y en el consumo de las poblaciones.

En nuestro país, aproximadamente 630 científicos y becarios realizan desde hace una década investigación y desarrollos en el área de nanotecnología, en forma conjunta con instituciones públicas y empresas privadas.

Diversos estudios señalan que la nanotecnología es prometedora para países como la Argentina, ya que puede aportar soluciones al problema de la contaminación yendo desde el tratamiento de aguas, la generación de energías alternativas y mejoramiento del entorno de las personas. En cuanto a la salud se podrían optimizar los procesos de diagnóstico de enfermedades y mejorar la acción y administración de los medicamentos. Desde la agricultura se podría aumentar la productividad. En lo referente a alimentación sería posible fabricar y conservar alimentos con mayor eficiencia. Inclusive se podrían producir muchos avances sobre los sistemas de construcción, control de insectos y los más optimistas apuntan a la posibilidad de reducir la brecha digital de los sectores más desprotegidos respecto de los grupos del primer mundo.

Vila Seoane (2011) advierte sobre la generación excesiva de expectativas sobre la capacidad de resolver múltiples problemas de esta nueva disciplina, en vista de los nuevos problemas que se pueden generar en base a su uso. De esta forma surgen interrogantes éticos como aquellos relacionados con los efectos que pudieran ocasionar sobre la población estos nuevos nanomateriales. La nanotoxicología aparece como una nueva rama destinada a estudiar las posibles consecuencias sobre la salud humana y el ambiente.

En cuanto a lo planteado en el capítulo 2 sobre las ideas que plantea Drexler en su libro "Máquinas de creación", es importante que consideremos las bondades que trae aparejado el desarrollo de nanomáquinas y sus aplicaciones en salud y el cuidado del ambiente. Pero también se debe considerar acerca de la advertencia que el mismo autor realiza sobre la "peste gris", que es una hipótesis por la

cual estos nanobots autorreplicables se multiplican sin control.

El Mg Maximiliano Fischer (2011)⁹, investigador principal del Centro Nacional de Energía Atómica (CNEA) sostiene que la nanotecnología es una tecnología disruptiva en cuanto a su capacidad de transformar la realidad de tal modo que es posible que se produzca un aumento de la brecha entre países pobres y ricos como efecto no deseado. Ante el advenimiento de este nuevo paradigma, los estados en vías de desarrollo como el nuestro se ven obligados a realizar fuertes inversiones en educación, ciencia, tecnología, investigación y sector empresarial, dada la naturaleza interdisciplinaria y convergente de la nanotecnología. Fischer a su vez advierte sobre la posibilidad de generar mayor dependencia hacia los países desarrollados desde los países que decidan no realizar esta inversión.

Los investigadores Brito y Castro (2012) en su publicación "Nanotecnología: hacia un nuevo portal científico -tecnológico" en la revista *QuímicaViva* abordan el desarrollo de la nanomedicina como uno de las áreas de mayor impacto en la sociedad. A su vez el Dr. Castro (2011) en otra publicación denominada "Nanobiología" establece que esta subdivisión representa un campo promisorio pero de alta complejidad cuyas aplicaciones las podremos encontrar en nuestra vida cotidiana. Estos nuevos desafíos necesitan ser conocidos y difundidos para que la población tome conciencia tanto de las oportunidades como de las amenazas que conllevan estos avances científico - tecnológicos, para desarrollar un sentido ético y delimitar malos usos.

Como reflexión final es importante considerar el enorme potencial que poseen la nanociencia y nanotecnología para el desarrollo de nuestras sociedades. La política nacional está orientada a generar oportunidades tanto a nivel público como privado, contemplando desde la provisión de recursos materiales y financieros hasta la formación de recursos humanos, previendo y minimizando los posibles efectos secundarios negativos sobre la sociedad y el ambiente que se puedan originar.

Es importante destacar que se debe instalar en la sociedad el debate sobre cuál va a ser en los próximos años nuestra postura en cuanto a nanotecnología.

También es crucial generar las condiciones que atraigan inversiones, empresas y financiamiento para que se posicionen a nivel local.

Educación

Existen muchas aproximaciones en cuanto a educación en N y N, gracias al esfuerzo de instituciones públicas y privadas. El presente libro tiene como objetivos proveer información, cooperar con la difusión y la concientización y la necesidad de formar recursos humanos en nanotecnología. Se realiza un análisis de la potencialidad que tiene la nanociencia y nanotecnología en nuestro país y en el mundo, y se busca que los lectores tomen conciencia sobre las numerosas ventajas que presenta esta nueva tecnología.

Si bien no existían carreras de grado para estudiar nanotecnología, el Centro Argentino Brasileño de Nanociencia y Nanotecnología (CABNN) mediante la Convocatoria para la realización de escuelas 2012, recibió propuestas para la realización de dos escuelas en Argentina sobre temáticas relacionadas al área de Nanotecnología.

Algunas facultades de distintas universidades tales como UBA y UNLP poseen cursos de grado en sus carreras, en general en la modalidad de optativos. Tal es el caso de la materia "Nanomateriales inorgánicos" que se dicta en la Licenciatura en Química de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. En este curso se estudian y aplican técnicas avanzadas de síntesis y caracterización.

En cuanto a los posgrados hay muchos profesionales de nuestro país que realizaron estudios de especialización en nanociencia y nanotecnología. Desde los organismos de gobierno se generaron becas para la producción de tesis de posgrado por parte de investigadores titulados en diversas áreas como biología, física, química e ingeniería. Asimismo se alienta desde el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación productiva la creación de carreras de posgrado que fomenten la creación y gestión de empresas tecnológicas como es el caso de la Maestría de Administración de Empresas de Base Tecnológica de la UBA que busca formar recursos humanos para ocupar roles gerenciales en empresas cuya principal actividad esté asociada a la tecnología y la innovación. También se puede mencionar la Escuela de Síntesis de Materiales: Sol-Gel de la UBA que es un curso intensivo de posgrado de 2 semanas con una importante carga horaria de laboratorio.

En cuanto a los profesados, existen algunas experiencias de inclusión de contenidos de N y N en el espacio curricular Sistemas Tecnológicos de Avanzada del antiguo pero vigente Plan de Estudios del Profesorado en Tecnología. En el Profesorado de Enseñanza Secundaria de la Modalidad Técnico Profesional en Concurrencia con el Título de Base, que se dicta en Institutos Superiores de Formación Docente de todo el país, existe el espacio Nanotecnología como optativo en el

⁹ Ministerio de Educación - INET (2011) "Materiales y materias primas. Nanomateriales"

CAPÍTULO VII

Por qué y para qué enseñar nanotecnología en las escuelas

Ana Reviglio

Introducción

Los procesos de enseñanza y de aprendizaje han sufrido transformaciones profundas en los últimos tiempos intentando dar respuesta a la nueva sociedad del conocimiento. Tanto los contenidos como los recursos didácticos implementados han sido interpelados por las habilidades y destrezas que la institución escolar debería desarrollar para formar ciudadanos capaces de intervenir sobre la realidad actual.

Se ha propuesto que colocar a los alumnos en situaciones similares a las que atraviesan los científicos durante su formación es una estrategia didáctica eficiente en el aprendizaje de las ciencias (Gil Pérez, D. Carrascosa, J. Martínez, F, 2000). En este punto es fundamental comprender que la labor educativa debe orientarse al desarrollo del pensamiento científico, lo cual reconoce cierta independencia del aspecto metodológico - tecnológico - instrumental. De esta manera, estimular actitudes inquisitivas y curiosas, propender a la corroboración y refutación de afirmaciones de manera crítica y fundamentada y despertar el interés por comprender los fenómenos de la vida cotidiana son estrategias válidas para acercar a los alumnos a las diferentes formas de hacer ciencia.

En nuestro país, la enseñanza de las ciencias naturales y de la matemática se ubica en un lugar destacado dentro de las políticas educativas en tanto son concebidas como recursos fundamentales para la construcción de una formación

científica básica que garantice el desempeño ciudadano autónomo. A través de la alfabetización científica, los ciudadanos están habilitados para interesarse e indagar sobre los fenómenos del mundo exterior, tomar decisiones fundamentadas sobre cuestiones relacionadas con la calidad de vida individual y colectiva y participar activamente en discusiones sobre la validez y la autoridad del conocimiento científico.

En este sentido, vale la pena mencionar que la enseñanza de las ciencias en el ámbito escolar debe hacerle lugar a contenidos curriculares actualizados, suficientes y relevantes a las necesidades, intereses y experiencia de los alumnos, priorizando el abordaje de aquellas disciplinas que realicen aportes socialmente significativos y resulten convocantes.

En relación a la incorporación al curriculum de contenidos científicos innovadores, la nanotecnología se constituye como una de las disciplinas emergentes de los últimos tiempos, con carácter multidisciplinar y particular relevancia científica. Este campo de estudio donde convergen las ciencias naturales – principalmente, la física y la química – ha sido recientemente sistematizado para poder ser aplicado de manera fundamentada a múltiples desarrollos que pueden tener repercusiones significativas sobre la calidad de vida de las personas.

A través de la nanotecnología, el conocimiento científico desarrollado es susceptible de ser transformado en productos, procesos y servicios que se pongan a disposición de la sociedad. En este sentido, su abordaje a nivel curricular permite revalorizar la enseñanza de la tecnología como un área que contribuye a la comprensión del mundo y que supera al rol de aplicación o complemento tradicionalmente asignado.

La divulgación de información científica a través de medios diversos ha generado expectativas elevadas en relación al futuro *nano*, muchas veces inconsistentes con la evidencia científica que las sustenta. Parte de esas expectativas se transformarán en elementos integrantes de la cotidianeidad y otras permanecerán en los laboratorios como simples experimentos.

Poder educar científicamente a los estudiantes para que sean capaces de apreciar estas disquisiciones y decidir en consecuencia constituye una forma de democratizar el conocimiento y aproximarse a la justicia curricular. Es una oportunidad única que tiene hoy la institución educativa. Es un compromiso con el futuro que debemos efectivizar.

Nanotecnología en la Educación

Al hacer referencia a la nanotecnología en la educación las primeras imágenes que surgen, casi con seguridad, son aquellas que promocionan actividades extra-programáticas que invitan a la participación de estudiantes secundarios en distintos programas o proyectos. Estos pueden suelen concluir con visitas a centros de investigación avanzados o presentaciones en ferias de ciencias.

En la página del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación (Mincyt) se presenta el programa *Nanotecnólogos por un día* (<http://www.mincyt.gov.ar/divulgacion/nanotecnologos-por-un-dia-9152>

verificado el 10/12/13). Allí se puede leer “El certamen tiene como objetivo promover y difundir la nanotecnología en las escuelas de enseñanza media, instaurarla como horizonte vocacional en ausencia de contenidos sobre ella en las currículas y fomentar el espíritu científico y el juicio crítico”.

De esto nos quedaremos con “ausencia de contenidos en las currículas”. Se refiere a la escuela media pero además se infiere no solo de este texto, sino de la inversión en nanotecnología y de las acciones de difusión que hace el Mincyt, que la nanotecnología es de importancia para el país, pero en la educación no tiene su lugar por el momento y aparentemente se considera solo como actividad extracurricular.

Siguiendo en la búsqueda de la nanotecnología, la nanociencia o los nanomateriales en la educación, pasamos por el portal educ.ar (<http://www.educ.ar/> verificado el 10/12/13). Aquí, accediendo al buscador interno y escribiendo nanotecnología, vemos que su tratamiento va desde la divulgación mediante videos o entrevistas hasta la referencia a nanosatélites. Este portal del Ministerio de Educación de la Nación solo pone el tema como divulgación sin mostrar una relación temática con los planes de estudio vigentes en todos los niveles. Encuadra el tema en la educación media y lo relaciona mayoritariamente con la física, sin hacer lugar al abordaje multidisciplinario que merece la nanotecnología.

Luego de realizar una búsqueda esperanzada, para encontrar la presencia grande de lo pequeño, mediante páginas web de ministerios de orden nacional, llegamos a inferir que la nanotecnología no es parte de la educación formal. Esto puede desalentar la continuidad de la búsqueda pero no la impide. Lo primero que surge acerca de la presencia de la nanotecnología, la nanociencia o los nanomateriales dentro de los planes de estudio es que se aborda en los temas más generales. Esto significa que el docente tiene la posibilidad de localizar el tema pero esto dependerá de su formación y de su voluntad.

Por ello, decidimos revisar en los planes de estudio de los institutos de formación docente la presencia de los contenidos ligados a la nanotecnología en las asignaturas de las ciencias naturales. La recorrida, un poco menos extensa, dio por resultado casi lo mismo que en el nivel medio: se puede inferir de los contenidos mínimos que la nanotecnología no está excluida pero tampoco está incluida y puede ser abordada por la voluntad e interés del docente. Existen algunos talleres y pocos seminarios que trabajan sobre nanomateriales, nanociencia y nanotecnología.

En una nueva inmersión, allá abajo donde hay mucho lugar aún, lo que encontramos siempre primero es la presencia de la nanotecnología relacionada con la educación no formal o de divulgación, principalmente mediante los proyectos encarados por la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN) como *Nanotecnólogos por un día* o el programa *Los científicos van a la escuela* del Mincyt. Puede ser que existan algunas otras acciones que han quedado por fuera de nuestra búsqueda pero siempre son acciones que no involucran al sistema educativo en su conjunto. Ya con las últimas esperanzas llegamos a dos instancias donde lo pequeño se hizo notar. En la resolución n° 142/11 del Consejo Federal de Educación se aprueban los Marcos de Referencia para el Bachillerato orientado en Ciencias Naturales se puede leer en las páginas 6 y 7:

“En los últimos 60 años se ha desarrollado una gran variedad de materiales que impactan en la calidad de vida y que son parte de numerosos dispositivos y objetos que nos rodean, con aplicaciones en salud, veterinaria, agricultura, protección ambiental, etcétera. El estudio de sus estructuras, propiedades y usos derivados debería considerarse como núcleo temático a desarrollar. En este sentido se propone: Nuevos materiales (incluyendo, por ejemplo, materiales complejos, cristales líquidos, semiconductores, biomateriales, materiales “inteligentes”, nanomateriales, ingeniería molecular, fármacos de última generación)” Fuente: http://www.me.gov.ar/consejo/resoluciones/res11/142-11_cs_naturales.pdf

Más adelante, en el mismo documento se propone la organización de seminarios para el abordaje de estos temas. En las “Orientaciones para la enseñanza” para Química en el Diseño Curricular para el Ciclo Básico de la Educación Secundaria (versión definitiva 2011-2015) de la provincia de Córdoba se lee en la página 74: “Dado que las imágenes de la química que la sociedad tiene transmitidas principalmente por los medios de comunicación son contrapuestas, ya sea muy negativas cuando se la vincula con temas como la contaminación, la degradación del ambiente, el uso de aditivos alimentarios agresivos para la salud, o muy posi-

vas cuando se la relaciona con los medicamentos, como garantía de la calidad de un producto, el desarrollo de nuevos materiales superconductores, nanomateriales entre otros, es necesario abordar en las clases tanto sus efectos beneficiosos como los perjudiciales, también señalar y rescatar su presencia en la vida diaria.” Fuente: <http://www.igualdadcalidadcba.gov.ar/SIPEC-CBA/publicaciones/EducacionSecundaria/LISTO%20PDF/TOMO%202%20Ciclo%20Basico%20de%20la%20Educacion%20Secundaria%20web%208-2-11.pdf>

La Ciudad de Buenos Aires incorpora, para la nueva escuela secundaria, en la asignatura *Química Alimentación y Salud* los nano-geles y la nanotecnología dentro de la unidad temática Metabolismo y salud.

Terminada está extensa e intensa búsqueda, rescatando lo encontrado y valorando que títulos como Los avances de la química del siglo XXI, o La química y los nuevos materiales, dentro de las orientaciones generales permiten que la nanotecnología se filtre naturalmente en los planes de estudio del nivel medio, lo que debe llamar la atención de los profesorados en química, física y biología para formar a los nuevos profesores en estos temas.

Quizás no sea este el lugar apropiado para proponer una mayor inserción de los temas relacionados con la nanotecnología, pero dada la proyección que tiene el tema, lo involucrado que se encuentra en distintas áreas del conocimiento, la inversión y difusión que se le está dando y la necesidad de que los estudiantes se interesen en acercarse a ella como posible respuesta a su vocación por la ciencia y como posible salida laboral, creemos que es necesario que en las orientaciones curriculares de los distintos niveles de la enseñanza, primaria, secundaria y superior, se mencione explícitamente el abordaje de estos temas y se aproveche su natural interdisciplinariedad.

El abordaje CTSA (Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente) en la enseñanza de la nanotecnología

La pedagogía y la didáctica constantemente buscan adaptar sus metodologías y técnicas al surgimiento de nuevas áreas de interés educativo, estas son nutridas desde los saberes que aporta el campo científico. -En este sentido la nanotecnología se presenta como un andamiaje que promete cambiar nuestro modo de concebir las relaciones entre lo natural, lo artificial y el ser humano.- El

sistema educativo debe estar preparado para afrontar el desafío de incorporar la nanotecnología como espacio de aprendizaje y reflexión en el currículum de la nueva escuela. Identificamos al abordaje CTSA como una dinámica novedosa que busca superar la fragmentación de las disciplinas escolares y aportar a la alfabetización científica y tecnológica en su interés por formar ciudadanos responsables y comprometidos con su entorno. Este abordaje amalgama cuatro dimensiones que usualmente están disociadas en la currícula escolar, me refiero a los saberes científicos, los saberes tecnológicos y los saberes relacionados con la sociedad y el ambiente, aportando cada uno de ellos sus teorías y métodos propios.

La nanotecnología se presenta entonces como un territorio prolífero, susceptible de ser incorporado a la enseñanza y al aprendizaje desde un abordaje CTSA. Dentro de esta lógica podemos contemplar la incorporación de disquisiciones provenientes de disciplinas científicas como la Física, la Química y la Biología que pueden aportar por ejemplo los conocimientos acerca del comportamiento de los nuevos materiales nanoestructurados, como así también las leyes que gobiernan sus transformaciones. Asimismo, desde la tecnología podemos analizar las propiedades de estos tipos de materiales, las materias primas implicadas, los procesos, herramientas y máquinas que se necesitan para su manufactura, los productos y servicios generados que pueden ser comercializados. En cuanto a la sociedad, encontramos fenómenos particulares como el consumo, las nuevas demandas para satisfacer necesidades cada vez más diversas, la mano de obra y los recursos humanos que se ofrecen, el trabajo y los recursos financieros involucrados. Como consecuencia de las actividades humanas surgen nuevas preocupaciones acerca del estado y conservación del ambiente natural. Dentro de la educación ambiental como disciplina, existen diversos autores que aúnan esfuerzos para generar concientización en la sociedad acerca del cuidado de nuestro entorno.

En definitiva, el enfoque CTSA como estrategia metodológica busca ofrecer alternativas efectivas y viables a problemáticas reales de la sociedad. Son numerosas las dificultades que como grupos humanos organizados debemos enfrentar en la actualidad, estas pueden ser listadas y categorizadas de distinta manera. A modo de ejemplo, propongo algunos ejes transversales que pueden ser utilizados como disparadores para instalar una problemática en el aula:

- Control y monitoreo de energías alternativas.
- Tratamiento y destino final de residuos.
- Higiene y seguridad en la producción de alimentos
- Contaminación de recursos naturales.

- Transporte público y privado
- Medios de comunicación
- Salud y nuevos tratamientos
- Demandas de calzado y vestimenta
- Consumo problemático de drogas

La dinámica CTSA puede ser abordada mediante el desarrollo de proyectos de investigación y/o de intervención que aporten soluciones concretas, centralizando al alumno como protagonista de su propio aprendizaje y disponiendo al docente como tutor o facilitador de las tareas. Una vez que el grupo selecciona el problema del que se va a ocupar, se procede a realizar sucesivas definiciones que van contextualizando y acotando la temática al tiempo actual y la realidad en distintas escalas de análisis. Luego se tienen en cuenta las distintas posibilidades, los materiales que se disponen, el costo y la infraestructura necesaria y los recursos humanos requeridos. Por último, como síntesis de las acciones se obtiene un estudio o producto cuya finalidad es generar conciencia en la sociedad o contribuir a paliar el inconveniente original ya delimitado.

Los conocimientos, métodos y técnicas que surgen desde el seno de la nanotecnología ayudan a proporcionar nuevas opciones y a cotejar distintas posibilidades para satisfacer algunos de los requerimientos enunciados.

El abordaje CTSA fomenta el desarrollo de competencias, capacidades y habilidades en los alumnos que no tan sólo puede ser asumidas desde la educación formal, sino también desde propuestas extracurricular tales como los clubes y ferias de ciencia, el CAJ y las tutorías.

Estrategias didácticas para la enseñanza y el aprendizaje de la nanotecnología

Modelos y analogías

Como docentes siempre nos enfrentamos, entre otras, a una pregunta ¿Cómo enseñar? En este punto se pretende contribuir con algunas ideas sobre el “como enseñar” nanociencia y encontrar una respuesta a este interrogante.

La enseñanza de la nanociencia, la nanotecnología y los nanomateriales presentan dificultades específicas cuyo origen lo encontramos posiblemente en el alto nivel de abstracción necesario para comprenderla. Como no podemos “ver” las nanopartículas, no podemos entender los fenómenos y así, nos introducimos en “una neblina de sucesos impenetrables, ajenos, por completo, a las experiencias cotidianas en un mundo “continuo”. (Kind Vanessa, 2004)

Los modelos y/o las analogías son algunas de las estrategias para el aprendizaje recomendadas, ya que pueden facilitar el abordaje de la temática tanto como la interacción entre docentes y alumnos, necesaria para la construcción del conocimiento.

Muchos investigadores de didácticas de la ciencia coinciden en definir a los modelos conceptuales como representaciones externas, “inventadas” en su gran mayoría, por científicos o profesores para facilitar la comprensión, enseñanza y comunicación; estos modelos, luego, son compartidos por la comunidad científica.

Es necesario, en principio, comprender cual es el sentido de la palabra modelo en el presente texto: *Los modelos son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo, con un objetivo específico.* (Chamizo, 2003)

La analogía relaciona dos situaciones, una situación familiar con otra nueva o desconocida. La familiaridad facilita la correlación de la información y, esta relación actúa como puente que permite relacionar el conocimiento previo con el nuevo conocimiento a aprender. Las analogías pueden ser: mentales, materiales y matemáticas.

Hay que tener en cuenta que, por muy alta que sea la semejanza estructural siempre existirán limitaciones en la analogía. En consecuencia, si la analogía se extralimita en su aplicación, se pueden adquirir conclusiones erróneas a causa de transferencia de conocimiento no deseable. Por ello es muy importante reflexio-

nar y analizar la influencia de aquellos aspectos relacionados con el contexto en el que se desarrolla la analogía.

Sobre los modelos es necesario diferenciar dos contextos: el de la investigación científica, por un lado, y el de la ciencia escolar y sus didácticas, por el otro.

Los modelos del ámbito educativo surgen de procesos por medio de los cuales el conocimiento científico se transformará de manera tal que sea posible ser enseñado en el aula.

Uno de los inconvenientes que se observa, cuando se utiliza modelos en el contexto educativo, es que generalmente se los considera como verdades incuestionables, sin identificar sus limitaciones y en muchos casos descontextualizados históricamente. Este problema es achacable a los docentes que no ponen en claro a sus alumnos que, el acercamiento que se hace de la realidad para su descripción es mediante modelos que permiten simplificar lo que ocurre en la Naturaleza para su estudio y predicción. También es conveniente que si la explicación mediante el modelo utiliza analogías el docente explicita su uso.

Como consecuencia de lo anterior, la mayoría de los estudiantes no tiene muy en claro qué son los modelos, sus características, sus funciones y limitaciones. Según numerosas investigaciones realizadas acerca de las concepciones de los alumnos, se detectaron entre otras, las siguientes:

1. Los modelos son copias de la realidad,
2. Es algo real pero a otra escala
3. algo exacto que no contiene “errores”,

Además,

- Afirman que el modelo es mejor cuanto más se parece a lo que representa.
- No tienen conocimiento que existen diferentes modelos para referirse a un mismo fenómeno,
- Tienen dificultades en identificar los modelos que les fueron enseñados.

Estas concepciones son variadas según el nivel de escolaridad, y muchas de ellas son sostenidas por profesores que presentan los modelos como hechos estáticos y dan poca importancia a su función predictiva.

Para sortear este inconveniente, siempre es importante que antes de utilizar una secuencia de enseñanza basada en modelos se generen actividades que permitan a los alumnos reconocer que son los modelos y la posibilidad que ellos mismos adviertan sus limitaciones.

Una de las actividades que se puede implementar es aquella conocida como “La Caja Negra”, Consiste en una caja cerrada que contiene diversos objetos que se deben adivinar, mediante un trabajo en equipo. La idea que subyace en esta

actividad es que la caja negra es un “modelo analógico” de la realidad, a la que nos podemos aproximar de diferentes maneras para intentar explicarla o describir su contenido¹.

En la discusión de esta actividad es importante hacer énfasis en que se puede construir ciertas interpretaciones o modelos de los fenómenos a partir de lo que percibimos (sonidos, olores) y también de lo que sabemos (qué tipo de cosas hacen esos sonidos o tienen esos olores), pero que éstos no necesariamente coinciden con la realidad (lo que hay dentro de la caja).

En este sentido, es necesario pensar que en el caso de la ciencia no es posible “abrir la caja” para constatar que nuestros modelos “coincidan” exactamente con la realidad, y que más bien éstos se pueden evaluar en función de qué tan adecuados son para predecir, explicar o describir ciertos aspectos de un fenómeno en un contexto específico.

Se pretende que los estudiantes relacionen la construcción de modelos con su propuesta de qué es lo que hay dentro de *La Caja Negra*, y que identifiquen que en la actividad científica hay incertidumbre, hay una construcción colectiva (entre los miembros del equipo), hay la posibilidad de confrontar los modelos construidos con la evidencia.

La nanotecnología necesita para su enseñanza tanto de modelos adecuados como de analogías apropiadas. El átomo con su núcleo y los electrones en los orbitales son una construcción teórica, con mucho de matemática, mucha imaginación y poca relación con imágenes analógicas. La poco feliz asimilación del átomo con el sistema planetario en nada ayuda a conocerlo. Las imágenes que hoy se obtienen de los átomos con el microscopio de efecto túnel en nada se parecen a ese modelo de Bohr o Rutherford que sigue pululando por las aulas y libros de texto. Tampoco esas imágenes **son los átomos**, simplemente son el resultado de aplicar los modelos matemáticos a los efectos eléctricos y magnéticos que producen los átomos puestos en ese microscopio, traducidos en formas y colores que permiten que los científicos tengan información del comportamiento de los mismos, pero no son **la foto** del átomo, como podemos pensar en nuestra foto.

En este breve párrafo se suman modelos, historia y analogías. Desandar ese camino permite transmitir en el aula conceptos muy abstractos pero por demás

interesantes, estimulantes y motivadores para los alumnos. En el libro encontrarán diversos ejemplos de modelos y analogías que pueden ser el punto de partida de diversas secuencias. Proponemos como actividad que permita comenzar a trabajar con el mundo nano identificar esos modelos y analogías en el texto y analizarlas para comprenderlas. Proponer nuevas analogías que reemplacen a las utilizadas y verificar su consistencia. Trabajar con los alumnos modelos y analogías desde este libro hacia otros temas de la temática que los involucra. En fin acceder y permitir acceder al conocimiento de la nanotecnología lleva como valor agregado tener que utilizar analogías y tener que explicitar necesariamente el modelo que la representa y permite conocer. Partiendo de esta “obligación” nos permitirá replantearnos para otros temas la necesidad de hablar del modelo utilizado y afinar la puntería en el uso de analogías.

Estrategias didácticas con TIC

Desde el principio de este nuevo milenio asistimos a una globalización y masificación inaudita de los medios tecnológicos digitales, fenómeno que conduce a la popularización del uso de recursos informáticos, como lo son las computadoras, los celulares y distintos medios audiovisuales, entre los que se incluyen la televisión y la radio. Todos ellos pueden ser encuadrados dentro del término TIC que significa “Tecnologías de la Información y la Comunicación”.

Los hábitos y costumbres de la sociedad van cambiando en forma vertiginosa e impactan de manera directa en la manera en que nos relacionamos, en la distribución del conocimiento y, en definitiva, en las concepciones sobre educación.

Existen una diversidad de situaciones que influyen en el acceso a las nuevas tecnologías por parte de las personas, entre ellas podemos señalar la edad, la condición social, el nivel de escolaridad, entre otros. Observándose que este acceso no se produce de manera equitativa entre las clases sociales. Con el objetivo de disminuir la brecha digital entre los que más tienen y los más desfavorecidos, a través del Decreto N°459 de 2010 de Presidencia de la Nación se entregaron en todo el país aproximadamente 4 millones de netbooks (hasta 2014) a docentes y alumnos de instituciones públicas participantes del Proyecto Conectar Igualdad, a la par de la instalación de un piso tecnológico en las escuelas para que las computadoras puedan ser utilizadas en red y con acceso a internet. Conjuntamente, los docentes recibieron y reciben una serie de capacitaciones gratuitas para adaptar e innovar sus estrategias y planificaciones ante los nuevos requerimientos didácticos. Para mencionar una de estas ofertas de capacitación se hace referencia a

1 Para más información se puede ver página 23, Capítulo 2, Actividades sobre modelos y el modelaje de Alejandra García Franco, en Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales de José Antonio Chamizo Guerrero y Alejandra García Franco, Universidad Nacional Autónoma de México, 2010 - <http://www.joseantoniochamizo.com/pdf/MyM.pdf>

la “Especialización Docente en Educación y TIC” que el Ministerio de Educación de la Nación brinda en forma de postítulo de dos años y medio de duración una actualización académica para el uso eficiente de herramientas TIC en las aulas.

Distintos autores fundamentan acerca de las razones y beneficios que se logran cuando los docentes incluyen recursos digitales en el desarrollo de sus clases. En una encuesta citada por Dussel (2011) sobre 2400 docentes, 63 % de ellos consideran que el mayor impacto de la implementación de TIC en sus clases es el aumento de la motivación de los alumnos. Cope y Kalantzis (2009) advierten sobre la necesidad de un “nuevo orden relacional” en las aulas, en las que los alumnos participen activamente de las actividades y construyan una cultura de conocimiento colaborativo. Por su parte Coll (2009) atribuye el impacto de las TIC sobre la enseñanza y el aprendizaje a las posibilidades de comunicación, intercambio, acceso y procesamiento de la información de profesores y estudiantes. Adell, Jordi (2004) establece cuáles son las características de las aulas propicias para que se puedan integrar proyectos con internet: se busca que ellas sean aulas activas, constructivas, conversacionales, colaborativas, en las que se realizan actividades intencionadas, personalizadas, reflexivas. García Valcárcel y Luis González Rodero (2006) argumentan sobre la necesidad de integrar TIC en los centros de formación para motivar a los alumnos ya que ellos se sienten naturalmente atraídos por la tecnología, y son nativos de una sociedad audiovisual. En cuanto al rol del docente, este debe actualizarse, no debe ser sólo un trasmisor de conocimientos, sino que debe generar una metodología cooperativa e interactiva, utilizando fuentes actuales, variadas y motivadoras.

De acuerdo a lo establecido por Cecilia Sagol (2011) es significativo que se desarrolle un esquema de incorporación de las TIC en la enseñanza, conforme al modelo representado en la Figura 7.1.

Figura 7.1. Esquema de incorporación de las TIC en la enseñanza.



Fuente: Sagol, C. (2011) El modelo 1 a 1: notas para comenzar. 1a ed. Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación.

Es importante entender que la computadora constituye un espacio o nuevo ambiente de trabajo más allá de los límites físicos del aula. Surge de esta manera el concepto de **ubicuidad** en el espacio de trabajo por medio de la cual “se producen y se consumen contenidos en cualquier lugar, lo que facilita el trabajo dentro y fuera de la clase y la movilidad de puestos de trabajo en el aula”².

Como propuesta considero que es importante implementar un trabajo dentro del modelo 1 a 1 con múltiples tareas, de esta manera la organización espacial podrá ser flexible trascendiendo también los tiempos escolares. El alumno puede utilizar el computador para trabajos fuera del ámbito del aula. Mediante el trabajo 1 a 1 la organización temporal de la clase adquiere una nueva dimensión ya que el alumno en forma permanente está en contacto con el equipo, no tan sólo durante el horario de la clase sino también fuera de él.

2 Cecilia Sagol (2011), “El modelo 1 a 1: notas para comenzar”

El replanteamiento de la dimensión espacio - temporal propuesto por la implementación del modelo 1 a 1 en el aula alienta la dinámica áulica y la organización de las tareas ya que permite mayor participación de los alumnos y la autoadministración y significatividad de los procesos de aprendizaje.

En los modelos 1 a 1 el docente no es la única fuente de la información, como sucede en un modelo de clases expositivas. Lejos de ser prescindible en contextos de alto equipamiento, la figura del docente se torna más necesaria cuanto más autónoma es la acción de aprendizaje de los alumnos. Con sus equipos individuales, los estudiantes necesitan una guía permanente, un monitoreo de su uso y una mediación para el consumo de información.

La interactividad de los alumnos con los equipos genera una nueva motivación a la vez que vuelve a la clase y al acto de enseñar y aprender un ámbito que renace, introduciendo la innovación en forma efectiva. El antiguo salón de clase, caracterizado por la dilación de sus tiempos y sus espacios estáticos, cuyos actores reflejan individualidades y soledad, en el que parecía que todo estaba dicho y escrito, de repente se propone hacerse visible.

Para el desarrollo de las clases con recursos TIC una de las propuestas que se sugiere es la metodología de trabajo colaborativo de intercambio de experiencias mediante la enseñanza con proyectos del tema seleccionado. El tiempo compartido por los alumnos en el salón de clases será para encontrarse con sus pares en donde se propondrán una serie de situaciones problemáticas para ser resueltas.

Los alumnos seleccionarán la situación problemática que deseen abordar de acuerdo a sus intereses, indagarán sobre las fuentes de información apropiadas para su abordaje, se les propondrá distintos tipos de recursos para resolver la problemática, y por último seleccionarán los soportes más específicos para socializar la información que se ha recogido y elaborado.

El trabajo de resolución por proyectos de las problemática planteadas se adecua a un abordaje CTSA, ya que involucra el desarrollo de contenidos de manera transversal e interdisciplinaria, pudiéndose integrar con materias del área de las ciencias sociales y naturales, la tecnología, y el cuidado del ambiente. Se crea el ambiente adecuado para realizar tareas integradoras en las que participan diferentes disciplinas en forma transversal y se desarrollan capacidades de diferentes tipo y nivel, competencias de expresión oral y escrita, habilidades para el trabajo colaborativo, además de entrenar en la solución de problemas y la comunicación de los resultados.

Los trabajos colaborativos pueden ser desarrollados en un entorno web ex-

clusivo de los alumnos de una clase o en un espacio público que trascienda la geografía del aula, con el fin de compartir producciones con toda la comunidad educativa o el público en general. Existen numerosas aplicaciones de uso libre que facilitan la colaboración entre pares y que no requieren del usuario una alfabetización tecnológica avanzada para su utilización. De forma muy sencilla, los estudiantes pueden crear, publicar, adaptar, comentar, difundir e integrar contenidos. Estas formas de participación en muchos casos ya son parte de la vida de nuestros alumnos: son miembros de redes sociales, publican blogs, participan en foros, publican fotos y videos. La escuela y los docentes tenemos el desafío de promover usos más complejos y desafiantes de las herramientas digitales. Tenemos que admitir las limitaciones y la buena predisposición de los docentes al introducirse en un nuevo mundo digital junto con sus alumnos, reconociendo que no es la primera vez que aprenderán algo porque deban enseñarlo, ni tampoco es la primera vez que aprenderán de y junto a sus alumnos.

Existen numerosas páginas de internet en las que se puede encontrar material didáctico acerca de nanotecnología para trabajar en las aulas, entre ellas podemos destacar:

- En el sitio de la Fundación Argentina de Nanotecnología <http://www.fan.org.ar/> se pueden acceder a una diversidad de contenidos entre los que se pueden mencionar una muestra de fotos de escala nanométrica.
- Los portales del Canal Encuentro y educ.ar ofrecen una diversidad de recursos multimediales. Se puede observar un video sobre nanomateriales en el siguiente enlace http://www.educ.ar/recursos/ver?rec_id=105158
- Existen redes cuya finalidad es hacer conocer los avances nanotecnológicos al público en general, entre ellas resaltamos la red NANODYF, difundida en países de habla hispana, su dirección es <http://www.nanodyf.org>

Otra metodología que surge como muy interesante también es el modelo de "enseñanza invertida" como propuesta para implementar para optimizar el uso del tiempo dentro y fuera de la clase (Flipped classroom aplicada por Aaron Sams). Esta metodología tiende a invertir el trabajo en clase y en la escuela trasladando la clase expositiva al hogar a través de videos producidos o seleccionados por los docentes y realizar las "tareas" en el aula, con la contención de los compañeros y el profesor.

En contextos educativos de aprendizaje con TIC, los estudiantes tienen un papel más activo que el que tradicionalmente cumplen en los contextos áulicos tradicionales. La posibilidad de contar con las netbooks les confiere el acceso a construir sus propios conocimientos y significados en forma autónoma, múltiple

y muchas veces fuera del aula. Las diferentes experiencias registradas en implementación 1 a 1 muestran que los estudiantes suelen continuar sus tareas fuera del aula o, al estar conectados con sus compañeros, conversar acerca de ellas. Esto les brinda mayores oportunidades para la comunicación, en un espacio compartido facilitador de encuentros e intercambios para el enriquecimiento mutuo.

Los docentes debemos estar preparados para la implementación en las escuelas del modelo 1 a 1 en toda su extensión. La enseñanza hoy involucra un espacio de encuentro entre docentes y estudiantes que se puede construir tanto en las aulas como en entornos virtuales. Para ello debemos incorporar en forma imperiosa y progresiva estrategias didácticas que realicen un uso óptimo de estas herramientas TIC. En el proceso, tanto la distancia como la presencia alcanzan nuevos significados en el desarrollo de propuestas de enseñanza que se articulen con la realidad de nuestros estudiantes.

Adquiere relevancia en este contexto pensar en articulaciones estratégicas con actores de otras escuelas, universidades y profesorado para enriquecer y profundizar las posibilidades de capacitación continua. La incorporación de metodologías TIC de manera sistemática, planificada y reflexiva puede ser la clave para el desarrollo de la nueva escuela secundaria y su mejora.

Trabajos prácticos en laboratorio

La presente sección no pretende presentar una lista de prácticas a modo de receta con respecto a nanotecnología, sino focalizar de un modo reflexivo en la problemática que plantean los trabajos prácticos tradicionales y plantear sugerencias sobre su posible tratamiento a partir de temáticas puntuales referidas a nanotecnología.

Algunos profesores de ciencias coinciden en expresar que los trabajos en el laboratorio son motivadores y les permiten acercar a los alumnos al método científico.

Sin embargo, debemos discrepar con esta afirmación, debido a que estas ideas son un resabio de la vieja escuela inductivista en la cual el conocimiento se construye a partir de la observación objetiva de los fenómenos sin mediar ninguna hipótesis subyacente que la distorsione.

Podemos hacer referencia a la presencia de obstáculos epistemológicos por parte de los docentes, que en palabras de (Martá Vargas J. 2008), genera una "parálisis paradigmática" en el sentido de encasillarnos en una única visión de lo que "debe ser" la ciencia sin considerar los nuevos diseños curriculares ya sea de

nivel medio o superior que focalizan en los *modos de construcción del conocimiento científico*.

(Hodson. 1994) se refiere a que: "la práctica de la ciencia es una actividad poco metódica e imprevisible que exige a cada científico inventar su propio modo de actuar. En este sentido se puede afirmar que no hay método", sí metodologías.

En este sentido Hodson (1994) considera hacer ciencia como una actividad fluida y holística que supera ampliamente una serie de reglas estipuladas que fueron enseñadas durante años en la escuela secundaria.

Si focalizamos en los *trabajos prácticos receta*, estos hacen referencia a comprobaciones a partir de un listado de materiales y reactivos que deben utilizarse y una secuencia de pasos y procedimientos a seguir donde el alumno sólo debe concentrarse en un aspecto específico que se le indica lo cual avasalla toda posibilidad de cuestionamiento o creatividad por parte del estudiante.

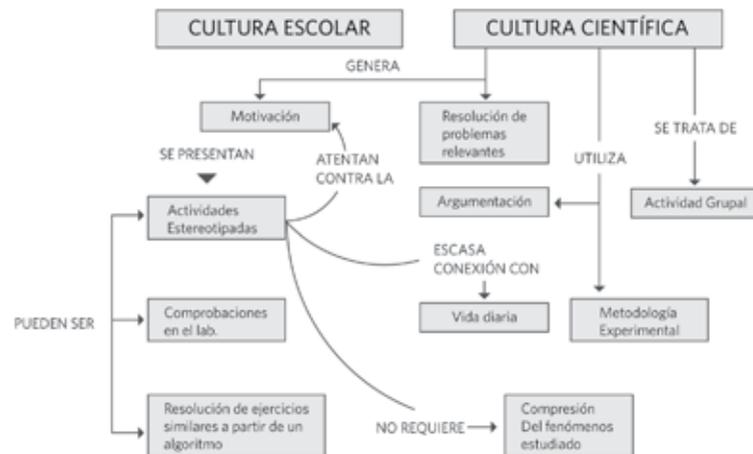
Podemos generalizar que las actividades de experimentación carecen de una oportunidad de reflexión y revisión. Estas cuestiones tienen relación directa con la noción de conocimiento didáctico de contenido (CDC) que se refiere a las prácticas de enseñanza del docente que permiten que "un tópico disciplinar sea enseñable y comprensible", en palabras de Bolívar (1993).

El autor analiza las investigaciones de Shulman quien establece una dualidad entre el CDC y el conocimiento disciplinar (CD) referidos ambos al contenido pero desde una perspectiva superadora a la visión enciclopedista tradicional ya que se contemplan los modos en que dichos contenidos pueden volverse más accesibles y por lo tanto más significativos para el alumnado.

En este sentido, Bolívar (1993) expresa con respecto al conocimiento didáctico de contenido: "Este marco supone filtrar la tradición académica por una práctica reflexiva sobre el contenido que va a ser enseñado".

A continuación se presenta el siguiente cuadro, que resume lo expuesto a partir de la cultura escolar vs. la cultura científica:

Figura 7_2 Cultura escolar-Cultura científica.



Fuente: cuadro de autor (Seferian A.)

A fin de presentar posibles propuestas a desarrollarse en el nivel superior, pero desde un encuadre innovador.

Nanofluidos: sugerencias para diseño de actividades que focalicen en otras habilidades cognitivas más allá de la comprobación

En capítulos anteriores, se ha focalizado en ciertas propiedades de ferrofluidos magnéticos y su importancia en lo que respecta al tratamiento de tumores cerebrales a partir de la hipertermia, direccionando las nanopartículas magnéticas hacia la zona afectada a través de potentes magnetos. Por otra parte, se conocen aplicaciones de ferrofluidos en automóviles, de manera tal que la solución se localiza, mediante magnetos, en la zona que se desea lubricar a fin de evitar su corrimiento.

Si deseamos preparar fluidos ferromagnéticos, es necesario considerar si solamente seguiremos un procedimiento para observar cómo al acercar un potente imán, la solución "se levanta" del recipiente, formando ondulaciones orientadas hacia el magneto o bien deseamos que los alumnos realicen un previo trabajo de análisis que les permita focalizar en cuestiones físico químicas en lo que respecta a la magnetita, por qué se requiere su preparación in situ y agregado de surfactantes, o bien, el análisis de su estructura cristalina a partir de *applets*.

Algunas sugerencias con respecto al inicio del trabajo experimental

La síntesis de ferrofluidos permite discutir una importante variedad de temáticas de diversa complejidad como por ejemplo:

- La síntesis de nanopartículas de magnetita, se realiza a partir de la mezcla de 2 soluciones de sales de Fe^{+3} y Fe^{+2} . ¿Cómo es posible evitar la aglomeración de las mismas? Ya que al generarse atracciones magnéticas, las partículas se atraen y dejan de poseer tamaño nanoscópico con la consiguiente pérdida de las propiedades del fluido.
- Esta cuestión se puede trabajar a partir del estudio de surfactantes y de las interacciones hidrofílicas e hidrofóbicas. Otra cuestión a tratar tiene que ver con el por qué del empleo del hidróxido de tetrametil amonio como surfactante o bien ácido oleico, relacionada con el tamaño de las especies químicas que recubren cada nanopartícula.
- En cursos más avanzados puede focalizarse en la estructura cristalina de la magnetita y su influencia en las propiedades magnéticas a partir de *applets* en los cuales se puede diseñar una estructura cristalina y rotar la misma en 3D (ver *applet* en <http://education.mrsec.wisc.edu/pmk/pages/Fe3O4.html>)
- Con respecto a las soluciones a emplearse, se requieren tener preparadas una *sc* 2,0 M de FeCl_2 en HCl, una *sc* 2,0 M de FeCl_3 en HCl, Una *sc* al 25% de hidróxido de tetrametil amonio. Sería interesante proponer a cada grupo diferentes proporciones en las cuales mezclar las soluciones a fin de analizar cual es la que genera un ferrofluido con elevado ferromagnetismo.
- De acuerdo a los autores, varían los procedimientos y concentraciones de las soluciones, otro tema interesante de discusión con los alumnos. Puede consultarse la siguiente investigación, al respecto: <http://www.rlmm.org/ojs/index.php/rlmm/article/viewFile/60/41>

Una posible ecuación correspondiente a la síntesis de nanopartículas magnéticas puede ser: $2 \text{FeCl}_3 + \text{FeCl}_2 + 8 \text{NH}_3 + 4 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 8 \text{NH}_4\text{Cl}$

A modo de conclusión, es importante resaltar que los trabajos prácticos receta, pueden presentarse a partir de otra perspectiva. Este cambio lo puede lograr el docente conciente, que desee superar la visión enciclopedista que no genera en el alumno el desarrollo de habilidades cognitivas y que en cambio, reflexión a cerca del por qué y el para qué de una práctica, pueden agregarle significatividad a la actividad a desarrollar. Finalmente, el docente que pueda superar la tradición de años en su formación enciclopedista, logrará un CDC de calidad, ampliamente superador a clases expositivas y trabajos prácticos receta.

Estrategias con recursos de lectura y escritura

De acuerdo a lo propuesto por Bogel y Hjorthoj (Carlino, P. p.13, 2013), una disciplina es tanto un espacio discursivo y retórico como conceptual. De esta manera, su aprendizaje implica apropiarse de sus sistemas de conceptos y métodos y de los usos del lenguaje específico. Estos últimos reconocen una naturaleza práctica y situada, deben ser aprendidos dentro del contexto en el cual se producen y son mediados por aquellos actores que tienen experiencia en su utilización. Así, se considera que en cada área de conocimiento se lee y se escribe de formas particulares. Desde esta perspectiva, la lectura y la escritura no son consideradas habilidades generales que una vez aprendidas pueden ser aplicadas a cualquier texto situado en cualquier contexto. Fundamentalmente, aquellos aspectos que se vinculan con el contenido y con el propósito de la escritura se reconocen como particulares de contextos específicos o de ciertas comunidades de práctica. De esta manera, los elementos del discurso escrito que se relacionan con el significado (desarrollo conceptual, adecuación a la situación comunicativa, argumentación válida, jerarquización de conceptos) no son aceptados de la misma manera en los ámbitos de las diferentes disciplinas. Esto determina que para aproximarse a los modos de lectura y escritura propios de cada área de estudio no alcance con la simple extensión de los procedimientos de alfabetización básicos sino que sea necesario reconstruir esas habilidades para transformarlas en herramientas que permitan intervenir en contextos disciplinares específicos. De esta manera, tanto la lectura como la escritura dejan de reconocer una condición autónoma, independiente o separada del contenido que se lee o que se escribe.

En los contextos escolares, los docentes pueden pensar a la escritura de dos formas diferentes: como un conocimiento previamente adquirido por los alumnos que se utiliza para comunicar una idea o un pensamiento preexistente o como un objeto de enseñanza, un contenido curricular que deberá ser abordado específicamente en el desarrollo de la asignatura. Esta segunda mirada propone a la escritura como una actividad que permite reflexionar sobre lo que se escribe modificando así el proceso cognitivo y permitiendo construir ideas nuevas, superadoras, que no existían antes de comenzar a escribir. En este aspecto, la producción de textos escritos se transforma en una estrategia didáctica eficiente para mediar la construcción de conocimientos propios de las distintas disciplinas.

En relación a la lectura, es frecuente proponerla como una competencia que se desarrolla de forma independiente del contenido del material que se lee. Así, se da por sentado que aquellos alumnos que hayan aprendido a leer de forma general cuentan con los recursos cognitivos necesarios para leer bibliografía es-

pecífica de cualquier asignatura y son capaces de acceder al significado de los textos por simple decodificación. Desde esta postura, la mediación de la lectura por parte del docente no resultaría necesaria porque un mismo texto sólo admite una única comprensión posible. Sin embargo, el proceso de lectura también puede ser abordado a partir de un modelo interactivo en el cual el significado de lo leído se construye combinando elementos del texto y elementos del lector, en especial sus conocimientos previos y su propósito de lectura. De este modo, los recursos que utiliza un alumno para aproximarse a un texto condicionan las interpretaciones, las jerarquizaciones y las relaciones sustantivas que va a ser capaz de establecer. Desde esta mirada, la intervención del docente conocedor del marco conceptual de su disciplina resulta fundamental para orientar a los estudiantes en la búsqueda de aquella información que resulta significativa para cada contexto. Asimismo, la mediación docente también cobra relevancia a la hora de confrontar las diversas interpretaciones de la lectura con el estado del conocimiento disciplinar.

Lo expuesto anteriormente justifica que las formas de leer y de escribir en cada disciplina formen parte de los contenidos a enseñar. Así, los alumnos podrán desarrollar competencias de interpretación y producción de textos que le permitan apropiarse de los saberes específicos.

Asimismo, la lectura y la escritura se constituyen en herramientas de estudio o estrategias de aprendizaje y, como los modos de estudiar dependen del contenido que haya que estudiar, la mediación docente resulta de particular importancia a fin de guiar la selección y jerarquización de la información. El desarrollo de estas competencias se verá reflejado en la eficacia con la que los alumnos toman apuntes en clase, elaboran resúmenes o validan información disponible en Internet.

Es importante destacar que la lectura y la escritura pueden ser consideradas como estrategias de aprendizaje sólo cuando se reconocen como procesos intelectuales que estimulan la construcción de relaciones sustantivas entre los conocimientos previos y el nuevo saber. Por lo tanto, no cualquier tarea referida a la producción o a la comprensión de textos escritos realizada en contextos áulicos va a ser igualmente eficiente como actividad cognitiva. Del mismo modo, es interesante resaltar que la lectura y la escritura disciplinares son habilidades que demandan tiempo y que requieren secuencias didácticas continuas ya que se adquieren a través de la experiencia mediada.

Así, es posible concluir que, para favorecer la apropiación del conocimiento disciplinar, las prácticas de lectura, de escritura y de estudio deben ser entendidas como contenidos curriculares a ser enseñados en las diferentes asignaturas. Este

desafío puede ser llevado a la práctica a través de actividades variadas:

- discutir las diferentes interpretaciones que hacen los alumnos a partir de la lectura de cierta información: se pueden presentar a los alumnos textos sobre nanotecnología provenientes de fuentes con intencionalidades diversas: diarios y revistas de divulgación masiva, textos escolares, publicaciones científicas y establecer actividades sistematizadas (guías de lectura, guías de evaluación de la comprensión lectora, foros de discusión) como forma de aproximación a la lectura científica académica y de divulgación
- escribir en forma grupal un párrafo que relacione distintos conceptos propios de una determinada problemática: tomando como referencia las diferentes áreas de incumbencia de la nanotecnología (salud, alimentos, medio ambiente, actividad industrial), se propondrá a los alumnos elaborar producciones escritas en las que expongan las respuestas y/o soluciones que ofrece la nanotecnología para una problemática particular
- revisar de forma conjunta producciones escritas elaboradas de manera individual y/o grupal de acuerdo a criterios preestablecidos: el docente presentará matrices de valoración que los alumnos aplicarán a los textos elaborados por sus compañeros para llevar a cabo un análisis sistemático del proceso de escritura
- estimular la entrega de avances o borradores de las producciones escritas para posibilitar la reflexión sobre la propia escritura y, de esta manera, reconstruir conceptos y reformular interpretaciones
- proponer actividades de periodismo científico: los alumnos escribirán textos de opinión en los que fundamenten su posición sobre las respuestas que la nanotecnología puede ofrecer a problemáticas cotidianas (administración de medicamentos, saneamiento ambiental, materiales, conservación de alimentos), describiendo beneficios y riesgos de su aplicación

Integrar actividades de lectura y escritura a la práctica áulica puede dar lugar a intercambios más participativos en los cuales dificultades habituales durante el proceso de aprendizaje como “interpretar información de manera inapropiada para el contexto”, “no expresar ideas o relaciones de forma pertinente”, “utilizar terminología que no pertenece a una determinada comunidad de práctica” se transformen en estrategias didácticas que asistan el proceso de aprendizaje.

Posibilidades, limitaciones y obstáculos de la enseñanza de lo nano

Si bien ya se expuso sobremanera en el libro el porqué de ahondar en el conocimiento de la nanociencia y la nanotecnología, vale la pena reiterar que quizás una de las principales razones para educar en estas temáticas es considerar que la nanociencia y la nanotecnología abren las puertas al descubrimiento de nuevas propiedades de los materiales, con aplicaciones cada vez más visibles y un impacto cada vez mayor sobre muchos aspectos de nuestra vida cotidiana. Por tanto, se requiere la adquisición de conocimientos relacionados con el nanomundo, y acercarnos a un tema científico que se vuelve parte importante de nuestra vida diaria.

En función de ello la nanociencia y la nanotecnología deberían abordarse en la escuela, a pesar de que sean contenidos que hoy están casi excluidos en la educación formal, según un análisis pormenorizado que se realiza en este capítulo acerca de la nanotecnología en la educación.

Ahora bien, no creemos que sea tarea sencilla porque si bien los conocimientos científicos en los que se asienta la nanotecnología se conocen desde tiempos lejanos, su auge actual se debe a *la convergencia de una serie de ramas de la ciencia, inconexas anteriormente...una combinación derivada de los conocimientos adquiridos en la Física del Sólido, la Química de Materiales, la Ciencia de Materiales, la Biología Molecular y la Bioquímica, y las Ingenierías. Todas estas disciplinas forman la base científica sólida sobre la que se asienta la Nanotecnología* (Soler Illia, 2010).

Como todo espacio multidisciplinar donde convergen varias ramas del saber, que implica procesos, conceptos, materiales, estructuras y productos de diferentes ramas de la ciencia y la ingeniería, se presentan una serie de dificultades de comprensión por parte de quienes los aborden.

Según estudios realizados acerca de las dificultades de comprensión de la nanociencia y la nanotecnología particularmente, (Gómez Ferri, 2013) destacamos fundamentalmente una de ellas *la cuestión de la escala a la que opera la nanotecnología*, la mil millonésima parte del metro, una escala muy alejada del mundo en el que operan cotidianamente los sentidos humanos.

Sin embargo, si bien los objetos nanoscópicos no son fáciles de imaginar, se emplean habitualmente, y se tiene también la posibilidad de percibir sus propiedades, lo que no deja de ser una posibilidad o una oportunidad en la enseñanza de lo nano.

Para profundizar acerca de la dificultad de comprensión de la temática, está el hecho de que para entender mucho de lo que ocurre en la nanoescala se tienen que comprender procesos que ocurren a nivel cuántico, lo cual tampoco es sencillo.

Entonces, estamos delante de conocimientos que para enseñarlos debemos presuponer obstáculos de orden conceptual, (Sánchez-Mora y Tagüeña, 2011) como pueden ser, entre otros:

- Razonar incorrectamente que los átomos y moléculas en una sustancia tienen las mismas propiedades que dicha sustancia tiene en la macroescala.
- Considerar a la materia como algo continuo, en lugar de formado por partículas.
- Y, fundamentalmente, presentar dificultades para comprender las escalas invisibles al ojo humano.

Todo esto muestra que la apropiación de los conceptos que la nanotecnología y la nanociencia nos brindan, implica la superación de varios obstáculos epistemológicos, entre ellos, el manejo de la escala. El conocer acerca de estos obstáculos, significa una gran posibilidad para la enseñanza porque nos permite plantear estrategias didácticas mucho más eficaces.

Sin ignorar las múltiples dificultades conceptuales que implica la enseñanza aprendizaje de la nanotecnología, coincidimos con el estudio realizado por Sánchez-Mora y Tagüeña (2011), que el tema de la escala no visible al ojo humano desnudo constituye el primer obstáculo epistemológico para la comprensión de esta temática. Aclarando dicho obstáculo, se facilitará la comprensión de la estructura atómica (por lo menos en el aspecto de la escala) y de la continuidad de la materia y con ello nos podremos introducir a la nanociencia y la nanotecnología.

Consideraciones finales

Un cierre que es apertura. El haber llegado al final de este libro seguramente habrá abierto en el lector nuevas preguntas de este mundo tan pequeño pero tan grande en saberes y posibilidades.

Este libro no pretende presentar una idea cerrada acerca de la nanociencia y la nanotecnología, pero sí ser el puntapié inicial, a manera de recorrido activo, acerca de los fundamentos y proyecciones de esta temática.

El vértigo que produce la velocidad con la sucesión de descubrimientos y desarrollos en ciencia y tecnología obliga a los lectores a mantenerse constan-

temente actualizados. Las páginas recorridas ponen al día todo aquello que ha sucedido y sucede en el marco de lo nanométrico.

Los lectores que busquen incorporar concepciones acerca de nanotecnología se llevan un armazón conceptual y un inventario actualizado de las aplicaciones internacionales y en particular de nuestro país que permitirá realizar una profundización sobre las áreas que promuevan interés.

Conociendo la escasez de libros sobre nanotecnología de producción nacional, queda el sentimiento de responsabilidad cumplido y la certeza de contar con un material valioso para ser utilizado en Formación Docente especialmente, así como en otros niveles de la enseñanza, permitiendo ampliar y dar respuesta a los nuevos currículos como las contribuciones a la didáctica.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- Bharat Bhushan Editor (2004). Springer Handbook of Nanotechnology. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Dresselhaus Mildred S., Lin Yu-Ming, Rabin Oded, Black Marcie R., Dresselhaus Gene (2004). Nanowires. En B. Bhushan (Ed.), Springer Handbook of Nanotechnology. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Fischer, M. (2011) "Materiales y materias primas. Nanomateriales" Ministerio de Educación de la Nación.
- Gil Pérez, D. Carrascosa, J. Martínez, F. (2000) Una disciplina emergente y un campo específico de investigación. En Perales, J. y Cañal, P. (Eds.). Didáctica de las ciencias experimentales. Alcoy: Marfil.
- Seferian, A. (2010) Química y su Enseñanza: ¿Qué hay de nuevo? Ocruxaves, Buenos Aires.
- Soler Illia, Galo (2010) "Nanotecnología: el desafío tecnológico del siglo XXI". Editorial Eudeba.

ARTÍCULOS EN REVISTAS

- Adell, J. (2004). Internet en educación. *Comunicación y Pedagogía*. Nº 200, 25-28.
- Lombardo, C. (2012). *Manual de gestión con el modelo 1 a 1*. 1a ed. Buenos Aires: Educ.ar S.E. Ministerio de Educación de la Nación.
- Calderón, C. A. *Construcción de Nanoestructuras: Nanopartículas metálicas sobre superficies modificadas*. Tesis doctoral para optar por el título de Dra. en Química (2011). Fac. de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba.
- Castro, Guillermo R. (2011) Nanobiotecnología. Campo promisorio de exploración y desarrollo de nuestras sociedades. Cuadernos Mercosur.it, publicación del Programa de Alta Formación para la Integración Regional, realizada por el Centro Interuniversitario di Ricerca per lo Sviluppo Sostenibile (CIRPS), Sapienza Universidad de Roma.
- Coll, C. (2009), Aprender y enseñar con las TIC: expectativas, realidad y potencialidades. En Carneiro, Roberto, Juan Carlos Toscano y Tamara Díaz (coords.), *Los desafíos de las TIC para el cambio educativo*. Madrid: OEI.
- Cope, B. & Kalantzis, M. (2009). Aprendizaje ubicuo. En *Aprendizaje ubicuo. Explorando las posibilidades de cualquier lugar/ cualquier tiempo para el aprendizaje en la era de los medios digitales*. Champaign, University of Illinois Press. Trad. Emilio Quintana.
- Cortón E. (2000) *Desarrollo y aplicaciones de biosensores enzimáticos microbianos*. Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires. INQUIMAE, Departamento de Química Inorgánica, Analítica y Química-Física y Laboratorio de Microbiología, Departamento de Química Biológica.
- Esplandiu M.J., Carot M.L., Cometto F.P., Macagno V.A., Patrio E.M. (2006). Electrochemical STM investigation of 1,8-octanedithiol monolayers on Au(111). Experimental and theoretical study. *Surface Science* 600, 155-172.
- Faraday, M., Philos. Trans. R. Soc. London, 147,145, 1857].
- García Valcárcel, A. & Rodero, L. (2006). Uso pedagógico de materiales y recursos educativos de las TIC, Universidad de Salamanca, *Segundo Congreso TIC en Educación*, Valladolid.

- Gil Pérez, D. Vilches, A. (2006). Educación ciudadana y alfabetización Científica: mitos y realidades. *Revista Iberoamericana de Educación*. Nº 42, pp. 31-53
- Gómez Ferri Javier (2013). Comprensión pública de la nanociencia y la nanotecnología. Informe de los resultados de un estudio Delphi. GRISON / Departamento de Sociología y Antropología Social Universitat de València javier.gomez-ferri@uv.es.
- Gutiérrez F. A., Rubianes M. D., Rivas G. A. (2012). Dispersion of multi-wall carbon nanotubes in glucose oxidase: Characterization and analytical applications for glucose biosensing. *Sensors and Actuators B* 161, 191- 197. Copyright Elsevier B. V.
- Hodson, D. (1994) Hacia un enfoque más crítico del trabajo en laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*. 12 (3), 299-313.
- Huang M. H., Mao S., Feick H., Yan H., Wu Y., Kind H., Weber E., Russo R., Yang P. (2001). Room-temperature ultraviolet nanowire nanolasers. *Science* 292, 1897-1899.
- Litter, M.; Chocrón, M; Repetto, P; Pardo, M y Blesa, M. (2003) *Tratamiento de Residuos Nucleares Líquidos por Fotocatálisis Heterogénea*. Comisión Nacional de Energía Atómica.
- Martá Vargas, J. (2008) Obstáculos epistemológicos en la formación pedagógica del docente universitario. *Revista Educación y Desarrollo Social* 2(2) 31-44
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva - Secretaría de Planeamiento y Políticas (2012) *Empresas y Grupos de I+D de Nanotecnología en Argentina*
- Ministerio de Educación de la Nación - INET (2011) *Materiales y materias primas. Nanomateriales*. Guía didáctica. Capítulo 12. Colección Encuentro INET. Investigadores Centro Atómico Constituyentes, Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica.
- Pereira dos Santos, C. (2012). Nanoencapsulação de Ingredientes Activos em Leyva
- Sagol, C. (2011) *El modelo 1 a 1: notas para comenzar*. 1a ed. Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación.
- Sagol, C. (2012), Material de lectura: Articulando contenidos digitales en clases 1 a 1. El modelo 1 a 1. *Especialización docente de nivel superior en educación y TIC*. Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación.
- Scodeller, Pablo David. (2011) *Aplicaciones de Electrodo Enzimáticos y Multicapas Enzimáticas en Biosensores y Bioceldas de Combustible* Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires en el área Química Inorgánica, Química Analítica y Química Física. Secretaría de Planeamiento y Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. (2013) *Casos de asociatividad e innovación · Año 1 · Nº 1- Nanotecnología*

INFORMACIÓN EN LÍNEA

- Amantea, A. (2011) "Orientaciones para la planificación de la enseñanza" Disponible en: http://www.buenosaires.gov.ar/areas/educacion/curricula/pdf/media/analitico-fisica_media.pdf (Fecha de consulta: 19/09/2014)
- Bolívar (1993) "Conocimiento didáctico del contenido y didácticas específicas" Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/209667052/Bolivar-CONOCIMIENTO-DIDACTICO-DEL-CONTENIDO-Y-DIDACTICAS-ESPECIFICAS>
- Brief History of Synthetic Gecko Adhesion Research (en línea). Disponible en: <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~ronf/Gecko/gecko-history.html>
- Britto Fiona.M., Castro Guillermo R. (2012). *Nanobiotecnología, hacia un nuevo portal científicotecnológico*

- lógico*. Química Viva 11(3): 171-183. Ed. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. ISSN 1666 7948. Dirección URL: <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v11n3/castro.html>. Consulta: 6 de agosto de 2013.
- Carlino, P et al. Leer y escribir para aprender en las diversas carreras y asignaturas de los IFD que forman a profesores de enseñanza media: concepciones y prácticas declaradas de los formadores de docentes - 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación, 2013. Disponible en <http://red.infed.edu.ar/articulos/nuevo-estudio-nacional-leer-y-escribir-para-aprender/>
- Chamizo José Antonio (2010). Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. pp. 26- 41. ISSN: 1697-011X. DL: CA-757/2003. Artículo: Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México Disponible en <http://www.apac-eureka.org/revista>
- Condori Segovia, B. (2010) Nanofiltros. Nanotecnología para solucionar el problema del agua. Revista de Información Tecnología y Sociedad. 5, 84-86. Recuperado el 2 de setiembre de: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1997-40442010000200025&script=sci_art-text
- Cristales líquidos. Aragón Investiga. Disponible en: <http://www.aragoninvestiga.org/Cristales-liquidos/>
- Drexler Eric K. (1976) Motores de la creación. La nueva era de la nanotecnología. Disponible en http://books.google.es/books/about/Engines_of_Creation.html.
- Dussel, I. (2011) "Aprender y enseñar en la cultura digital" Disponible en: <http://www.oei.org.ar/7BASICOp.pdf>
- Fariña, D., Álvarez, M., Sendra, J. y Lechuga L. (2011) Biosensores ópticos nanomecánicos basados en microcantilevers. Intekhnia 6 (1), 45-55.
- Feynmann, R. (1959) Fragmento de la conferencia "Hay mucho espacio en el fondo" brindada el 29/12/1959 en la reunión anual de la Sociedad Americana de Física que se desarrolló en el Instituto de Tecnología de California (CalTech). Disponible en: <http://www.slideshare.net/bioygeo/nanotecnologia-1515215>
- Fundación Argentina de Nanotecnología (2010) *Quién es Quién en Nanotecnología en Argentina*. Disponible en: http://www.fan.org.ar/wp-content/uploads/2012/10/QEQ_NANO_REFERENCIA_BAJA.pdf
- Fundación Argentina de Nanotecnología (2012) *Quién es Quién en Nanotecnología en Argentina*. Segunda Edición. Disponible en: <http://www.fan.org.ar/wp-content/uploads/2012/12/Quien-es-quien-en-nanotecnologia-en-Argentina-2-edicion.pdf>
- Goycoolea, F.; Remuñán-López, c., & Alonso, M. (2009). Nanopartículas a base de polisacáridos: quitosanos. Recuperado el 1 de agosto de <http://www.analesranf.com/index.php/mono/article/view/990>
- Informe final - Comisión Nacional para el Mejoramiento de la Enseñanza de las Ciencias Naturales y la Matemática - Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación, 2007. Disponible en <http://portal.educacion.gov.ar/files/2009/12/Mejoramiento-de-la-ense%C3%B1anza.pdf>
- Kind, V. (2004) "Students' misconceptions about basic chemical ideas" Disponible en: http://www.rsc.org/images/Misconceptions_update_tcm18-188603.pdf
- Laitón Cruz, J.,(2012). Síntesis de nanopartículas de plata funcionalizadas con péptidos análogos de lactoferrina con potencial contra *Esterichia Coli*. Recuperado el 30 de julio de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7392/2/143147.pdf>
- Leyva Gómez, G., (2013). Nanopartículas de plata: tecnologías para su obtención, caracterización y actividad biológica. Investigación en Discapacidad, 2 (1), 18-22. Recuperado el 29 de julio de 2013 de: <http://www.medigraphic.com/pdfs/invdia-ir-2013/ir131c.pdf>.
- Liscio, A. "Nanociencia" Disponible en: <http://www.agenciasinc.es/content/advancedsearch?SearchText=nanoestructuras&desde=&hasta=>
- Martini, M. (2006) Entrevista. Disponible en: <http://portal.educ.ar/noticias/entrevistas/marianamartini-deberiamos-ens.php>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación Argentina, (2009), *Boletín Estadístico Tecnológico N° 3: Nanotecnología*. Disponible en http://www.mincyt.gov.ar/multimedia/archivo/archivos/BET_Nanotecnologia.pdf (Consulta realizada el 6 de agosto de 2013).
- Ortega Ortiz de Apodaca, F., (2006) Biosensores y biochips: herramientas para el diagnóstico y la terapéutica. Discurso pronunciado ante la Real Academia de Farmacia de España. Recuperado el 2 de agosto de 2013 http://www.researchgate.net/publication/41079924_Biosensores_y_biochips_herramientas_para_el_diagnostico_y_la_terapeutica
- Plan de Mejoramiento de la Enseñanza de las Ciencias - Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación, 2008. Disponible en <http://portal.educacion.gov.ar/files/2009/12/Plan-de-Mejoramiento-de-la-Ense%C3%B1anza-de-las-Ciencias.pdf>
- Pombo Barros, V. y Goyanes Villaescusa, V. (2011). Puntos cuánticos: nueva aportación de la nanotecnología en investigación y medicina. Revista complutense de Ciencias Veterinarias. 5 (1), 66-102. Disponible en: <https://revistas.ucm.es/index.php/RCCV/article/viewFile/.../22292>
- Roco, citado en Ratner, M.; Ratner, D.: (2003), "Nanotechnology", Prentice Hall, New Jersey. Tomado de <http://hyle.org/journal/issues/10-2/lopez.htm>
- Sánchez-Mora Carmen M., Tagüeña Parga Julia. (2011)Revista Mundo Nano, Vol. 4, No. 2. Artículo: El manejo de las escalas como obstáculo epistemológico en la divulgación de la nanociencia. Disponible en www.mundonano.unam.mx
- Sams, A. (2012). Metodología de Flipped classroom. Disponible en: <http://www.youtube.com/watch?v=QvkRBVxVpFY&feature=youtu.be&a>.
- Serna Cock L., Zetty Arenas, A. y Ayala Aponte, A. (2009). Use of enzymatic biosensors as quality indices: a synopsis of present and future trends in the food industry. Chilean Journal of Agricultural Research. 69, 270-280. Recuperado el 2 de agosto de <http://www.chileanjar.cl/current.php?V=69&I=2>
- Smalley (1993) "El descubrimiento de las buckybolos y los nanotubos". Revista: Investigación y Ciencia. Disponible en: <http://www.investigacionyciencia.es/investigacion-y-ciencia/numeros/2011/11/el-descubrimiento-de-las-buckybolos-y-los-nanotubos-8787>
- UAB Divulga (2012) Disponible en: <http://www.uab.es/servlet/Satellite?cid=1096481466568&pagename=UABDivulga%2FPage%2FTemplatePageDetailArticleInvestigar¶m1=1345645461918>
- Vila Seoane, M, (2011), *Nanotecnología: Su desarrollo en Argentina, sus características y tendencias a nivel mundial*. Tesis de Maestría en Gestión de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, Universidad Nacional de General Sarmiento. Disponible en http://www.ungs.edu.ar/ms_ungs/wp-content/uploads/2012/03/Vila-Seoane-Maximiliano-Facundo-T%C3%A9sis-de-Maestr%C3%ADaVersi%C3%B3n-Final.pdf (Consulta realizada el 6 de agosto de 2013).
- Yam, Philip (2011) Disponible en <http://www.investigacionyciencia.es/investigacion-y-ciencia/numeros/2011/11/el-descubrimiento-de-las-buckybolos-y-los-nanotubos-8787> <http://www.youtube.com/watch?v=pv3DsOESwRM#t=11>

http://youtu.be/ohJODL2_HGs_
<http://nanofiltros.com/es/content/tenologia-de-nanofiltros>
<https://www.facebook.com/ArtificialKidney>
http://www.me.gov.ar/consejo/resoluciones/res11/142-11_cs_naturales.pdf
<http://www.igualdadycalidadcba.gov.ar/SIPEC-CBA/publicaciones/EducacionSecundaria/LISTO%20PDF/TOMO%202%20Ciclo%20Basico%20de%20la%20Educacion%20Secundaria%20web%208-2-11.pdf>
http://www.educ.ar/recursos/ver?rec_id=

Sobre los autores



Sergio Oscar Silvestri

Profesor de Matemática, Física y Cosmografía (I.E.S nº 1 Mariano Acosta) y Licenciado en Enseñanza de la Ciencias (Unsam). Luego de una larga trayectoria en el nivel medio en distintas escuelas del país, se desempeña actualmente en el nivel Superior y el Universitario en las cátedras de Física I y Análisis Matemático I. Es coordinador del trayecto de Física de los profesados de Matemática y Física del I.E.S. nº 1 Dra. Alicia Moreau de Justo. Ha dictado cursos en pos-títulos, maestrías y capacitaciones. También ha publicado textos para educación Primaria y Secundaria.



Ana Cecilia Munuce

Ingeniera Química, Master en Ingeniería y Gestión Ambiental, Profesora en Docencia Superior. Se desempeña como Docente de Ciencias Naturales y de Postitulo de Actualización Docente, en el ISFD Pedro I. de Castro Barros de La Rioja. Es Docente Investigadora en la Facultad Regional La Rioja de la UTN, participó en diversos proyectos de investigación y ha producido artículos de divulgación de las investigaciones realizadas.



María Eugenia Alassia

Licenciada en Química (2003, UNC). Doctora en Ciencias Químicas (2009, UNC). Profesora de la Facultad de Ciencias Químicas, UNC (2003-2009). Actualmente se desempeña como Docente en el Profesorado de Educación Tecnológica y en la Tecnicatura en Alimentos en el Instituto de Educación Superior del Centro de la República "Dr. Ángel Diego Márquez", INESKER (Villa María, Córdoba).

**Alicia Seferian**

Profesora de Química, Licenciada en Enseñanza de las Ciencias (UNSAM). Actualmente cursa el Doctorado en Enseñanza de las Ciencias (UNCOMA); trabaja como profesora en el nivel Superior de la Provincia de Buenos Aires en diferentes cátedras de Educación Primaria, Biología y Química y en la Escuela Normal Superior N°2 Mariano Acosta. Es autora del libro "Química y su Enseñanza: ¿Qué hay de Nuevo?" (2010) y otras publicaciones de Argentina y el extranjero. Participó en varios cursos, talleres y seminarios de especialización en congresos y en el CEFIEC. Es capacitadora en Prov. de Buenos Aires y pertenece al equipo de Investigación en Didáctica de las Ciencias: GIADICIEN-UBA.

**Ana Reviglio**

Médica, Profesora Superior en Medicina. Se desempeña como docente en Nivel Medio y Superior en instituciones de la ciudad de Rosario. Profesora de la materia "Fundamentos Anatómo-fisiológicos 1" en el Instituto Superior de Educación Física N°11.

**Luis Ricardo Soria**

Bioingeniero recibido de la Universidad Nacional de Entre Ríos y postulado en Investigación Educativa del Centro de Estudios Avanzados de la Universidad Nacional de Córdoba. Ha dictado numerosos cursos de capacitación y participado en proyectos de investigación y publicaciones en el área de Ciencias Naturales y Educación Física. En la actualidad se desempeña como docente adjunto de la Cátedra de Biomecánica en la Licenciatura en Educación Física de la Universidad Nacional de Catamarca, en la Cátedra de Biotecnología del Profesorado en Educación Tecnológica del IFD Gobernador José Cubas, en Instituto Superior Técnico Industrial y el Instituto Superior de Educación Física de la Provincia de Catamarca.

SERIE CUADERNOS DE TRABAJO DOCENTES APRENDIENDO EN RED

El sector de Educación de la Oficina de Montevideo-Representación ante el MERCOSUR implementa sus acciones programáticas a nivel nacional y subregional en el marco del Proyecto Regional de Educación para América Latina y el Caribe (EPT/PRELAC 2007).

Los ministros de Educación de la Región han afirmado que la educación es un bien público y llave para la construcción de un mundo más justo, señalando siete temas centrales en sus recomendaciones (www.unesco.org/Santiago). Esta nueva serie de publicaciones, que hemos titulado Docentes Aprendiendo en Red (DAR) se nutre selectivamente de las recomendaciones referentes al "derecho de las personas a aprender a lo largo de la vida" desde "enfoques educativos para la diversidad, la inclusión y la cohesión social". La serie pretende acercar al docente lector materiales de apoyo educativo, elaborados por algunos de sus pares docentes que han sido participantes activos de proyectos innovadores asistidos por UNESCO.

A nivel nacional, implementar estas recomendaciones potencia una de las funciones de la UNESCO que denominamos "laboratorio de ideas". En ese sentido, la temática de acortar distancias entre las investigaciones universitarias y la formación de docentes en ciencias es uno de nuestros centros de interés programático. Entendemos que trabajar a favor de los educadores de la enseñanza demanda asistir técnicamente en el diseño de proyectores innovadores fundamentalmente en dos aspectos:

a) Requerir y fomentar equipos con profesionales diversos que sean referentes para el tema seleccionado y se encuentren dispuestos a "Aprender juntos" (Delors 1996)

b) Incluir en el diseño instancias colectivas de formación, discusión y planteo de dificultades conceptuales, con el objetivo de estimular aprendizaje y capacidades de producción de materiales escritos por docentes.

Los cuadernos de trabajo "Escritura en Ciencias" en el marco de la serie DAR han sido generados por el Instituto Nacional de Formación Docente del Ministerio de Educación de la Nación Argentina a través de una convocatoria abierta a los Institutos de Formación Docente de gestión pública de todo el país.

Los cuadernos de Escritura en Ciencias se ponen a disposición de formadores y alumnos de la formación docente como materiales de apoyo educativo elaborados por pares que han sido participantes activos como integrantes de equipos de trabajo que llevan adelante de proyectos innovadores asistidos por UNESCO.

El trabajo de los coordinadores ha sido complejo e indispensable para el éxito de este tipo de proyecto. Las contrapartes por países han hecho propio este diseño y ajustado a sus realidades temáticas y de arquitectura (presencial y/o virtual). De esta manera, la temática de Paraguay es "La Escritura en Paraguay", en Argentina "Escritura en Ciencias" y en Uruguay "Celebrando el Año Internacional de la Química". Los coordinadores generales, así como los de Escritura han desarrollado un análisis crítico del proceso y han sabido guiar las intrincadas relaciones generadas cuando se "aprende haciendo" contribuyendo a resolver conflictos y logrando el mejor documento posible. En ese sentido, vaya a todos ellos nuestro agradecimiento.

María Paz Echeverriarza
Profesional del Programa Educación
UNESCO Montevideo

