

ARTÍCULO

## PENSAMIENTO CRÍTICO ACERCA DE LA NANOTECNOLOGÍA

Miguel Aznar

## **Pensamiento crítico acerca de la Nanotecnología**

### **Resumen**

Bajo el concepto de Nanotecnología subyacen aspectos sociales tales como la educación, las carreras profesionales y el empleo, la política, la salud, la energía y el medio ambiente. La Nanotecnología es una disciplina convergente y su rápido desarrollo hace que sea difícil de entender, sobre todo para el público en general. En este trabajo se propone un enfoque contextual para que la comprensión y evaluación de la nanotecnología sea accesible al público general. Este enfoque se ha puesto en práctica en escuelas, y puede contribuir a la toma de decisiones, bien fundamentadas, sobre temas influenciados por la nanotecnología.

**Palabras clave:** Nanotecnología; Nanociencia; Educación; Pensamiento crítico; Beneficios Contextuales; Comprensión Pública.

## **Critical thinking about Nanotechnology**

### **Abstract**

Nanotechnology underlies society's choices in education, career/employment, politics, health, energy, and environment. Nanotechnology's discipline-crossing breadth and its rapid development make it hard to understand, especially for the general public. This paper proposes a contextual approach to understanding and evaluating nanotechnology that is accessible to the general public. It has been used in schools and may enable the general public to make informed choices on subjects influenced by nanotechnology.

**Keywords:** Nanotechnology; Nanoscience; Education; Critical Thinking; Contextual Benefits; Public Understanding.

## Introducción

La mayoría de la gente no sabe qué es la Nanotecnología, pero toman decisiones sobre aspectos que son influenciados por ella. Como individuos y como grupos tomamos resoluciones en materia de educación, carrera/empleo, política, salud, energía y medio ambiente, los cuales se ven influidos por la Nanotecnología, ya que la misma está cambiando los recursos que se utilizan en un número cada vez mayor de campos. ¿Qué necesita saber, el público en general, acerca de la Nanotecnología con el fin de tomar decisiones informadas y racionales?

La Nanotecnología presenta varios desafíos. En primer lugar, es una disciplina convergente de muchas otras, por lo que entender un ejemplo de estos desafíos podría requerir familiaridad, por ejemplo, con la física y la microbiología; pocos expertos abarcan campos tan diversos. En segundo lugar, se requiere de personal entendido; ya que el diseño de un recinto a nanoescala para llevar productos químicos a las mitocondrias de una célula, requiere conocimiento experto de la química y la biología celular. En tercer lugar, el campo o campos de la Nanotecnología se están ampliando constantemente. Así que, una comprensión completa se hace cada vez menos posible debido a su incesante experimentación y publicación global.



Miguel Aznar y estudiantes de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, confeccionando modelos moleculares para fullerenos durante la sesión de posters del Simposio NANODYF 2012.

Si bien esto puede parecer desalentador, este artículo propone una aproximación al entendimiento de que la nanotecnología apoya el pensamiento crítico y es totalmente accesible para el público en general, desde los escolares a los políticos. Vamos a empezar poniendo en contraste el conocimiento técnico y contextual antes de enmarcar nueve preguntas como una

aproximación a esa comprensión contextual. Por último, ese marco apoyará el pensamiento crítico y las decisiones tomadas por la sociedad. Este enfoque ha sido probado durante más de una década en clases de escolares de entre 10 y 17 años de edad. No ha sido probado en los políticos, pero el autor agradecería recibir apoyo para dichas pruebas.

## **Comprensión técnica vs. comprensión contextual**

Cuanto más grande es la isla del conocimiento, más larga es la costa de lo desconocido. La isla de los conocimientos científicos y de ingeniería, de los que forma parte la Nanotecnología, está creciendo rápidamente. Este tipo de conocimiento nos permite experimentar, modelar, inventar, diseñar, construir, probar, implementar y modificar los conocimientos. Los científicos, ingenieros y técnicos especializados, están aprendiendo lo que podríamos describir como una "técnica" de entendimiento con el fin de llevar a cabo estas actividades. Este nivel de la ciencia, las matemáticas y la ingeniería exige especialización y un gran esfuerzo en educación. ¿Que necesita saber el público en general, para desarrollar un pensamiento crítico acerca de la Nanotecnología?

Para empezar, el público en general tendría que saber algo que no se convierta en obsoleto antes de adquirirlo. Un dato técnico tiene una corta vida, pero un enfoque o estrategia puede perdurar. Las preguntas pueden sobrevivir a las respuestas. Así que si vamos a enseñar acerca de la Nanotecnología, vamos a empezar con un enfoque de hacer preguntas al respecto. ¿Qué es la Nanotecnología? ¿Por qué usarla? ¿De dónde viene? ¿Cómo funciona? Estas son preguntas sobre su identidad, pero sabemos que el cambio es una característica de la tecnología, y la Nanotecnología es un blanco móvil. Así que también necesitamos preguntas sobre eso ¿Cómo cambia la Nanotecnología? ¿Cómo nos cambia? ¿Cómo la cambiamos? Si somos capaces de responder a estas preguntas, tenemos base para la evaluación. ¿Cuáles son los costos y beneficios de la Nanotecnología? ¿Cómo la evaluamos?

Se podría señalar que, si bien las preguntas parecen sencillas, las respuestas pueden ser tan detalladas como el conocimiento técnico que está más allá de la mayoría del público en general. Por ejemplo, "¿cómo funciona?" Esa pregunta sobre la Nanotecnología podría exigir mucho de la ciencia y de la ingeniería conocidas. La reorganización de una gran cantidad de conocimientos en nuevas categorías no la hace más accesible para el público en general. No, porque accesible para el público en general no requiere respuestas con profundidad técnica, sino con los patrones que en términos generales conectan la Nanotecnología. En lugar de las ecuaciones de la física cuántica, una respuesta a ¿cómo funciona la Nanotecnología? podría incluir el patrón de estructura molecular que puede influir en el comportamiento mecánico, eléctrico, y óptico de un material. Esto es más contextual que técnico.

Una comprensión contextual no sustituye a una comprensión técnica, pero sí prepara a

una persona que no es técnica para comprender y evaluar la información técnica (artículos, libros, discursos, debates, propuestas legales, anuncios, etc.). Incluso los expertos técnicos se beneficiarían de este contexto para comprender y evaluar el asesoramiento técnico de expertos en otros campos. Las respuestas contextuales son igualmente comprensibles de aprender, al menos para escolares de entre 10 y 17 años de edad. En el resto de este artículo se dan ejemplos de algunas respuestas a las nueve preguntas mencionadas en el párrafo anterior. Mientras que las preguntas pueden ser de valor perdurable, nuevas respuestas pueden llegar a ser importantes, y las viejas respuestas pueden perder importancia. El poder de repercusión no está en las respuestas específicas, sino en el marco de preguntas:

1. ¿Qué es la Nanotecnología?
2. ¿Por qué utilizamos la Nanotecnología?
3. ¿De dónde viene la Nanotecnología?
4. ¿Cómo funciona la Nanotecnología?
5. ¿Cómo cambia la Nanotecnología?
6. ¿Cómo nos cambia la Nanotecnología?
7. ¿Cómo cambiamos la Nanotecnología?
8. ¿Cuáles son los costos de la Nanotecnología y los beneficios?
9. ¿Cómo evaluamos la Nanotecnología?

## ¿Qué es la Nanotecnología?

La Iniciativa Nacional en Nanotecnología de EE.UU. utiliza esta definición: “La nanotecnología es la comprensión y el control de la materia en dimensiones de aproximadamente 1 a 100 nanómetros, donde fenómenos únicos permiten nuevas aplicaciones.” Para ello es necesario que definamos nanométrica: una mil millonésima parte de un metro. Podemos hacer esto con ejemplos casi tangibles que ocurren naturalmente. Un cabello humano es de 60.000 - 120.000 nanómetros de diámetro. Un glóbulo rojo es de 2.000 - 5.000 nanómetros de diámetro. Nuestra espiral de ADN es de aproximadamente 2,5 nanómetros de diámetro. Esta definición no tiene en cuenta objetos como partículas de emisiones diesel, algunas de las cuales tienen tamaños nanométricos, sin embargo no están controladas y, que el autor sepa, no aportan nuevas aplicaciones; la definición las tendría en cuenta si se pudieran controlar y utilizar partículas de emisiones diesel.

Otra respuesta divide la Nanotecnología actual y especulativa en categorías: nanopolvos/nanomateriales, precisión molecular, máquinas de nanoescala, los compiladores de materiales, y los nanobots autorreplicantes. Nanopolvos y nanomateriales incluyen ropa con fibras nanométricas antimanchas (por ejemplo, evitar una mancha de vino tinto en una camisa blanca). También incluyen protección solar reforzada con partículas nanométricas translúcida a la luz visible, pero

que bloquea la luz ultravioleta. La precisión molecular incluye circuitos integrados y las células solares, en los que la colocación de materiales conductores, aislantes, y semiconductores debe tener precisión nanométrica para la función eléctrica del dispositivo. Las máquinas a nanoescala minimizan los engranajes, palancas, y componentes afines, donde la precisión adquiere un nuevo significado, ya que un átomo puede ocupar un punto determinado de dicha máquina. No hay un medio o un tercio de un átomo para una máquina a nanoescala, en comparación a las máquinas de mayor escala en las que puede haber precisiones de más o menos un uno por ciento de milímetro. Los compiladores de materiales, cuando sea factible, pueden ser capaces de "montar" casi cualquier cosa que diseñamos a partir de una población de átomos o moléculas normales. La tecnología actual se aproxima a esto con impresoras 3D, pero en la actualidad poseen varios órdenes de magnitud por debajo de la colocación precisa de los átomos. Robots autorreplicantes a nanoescala ("nanobots"), también especulativos, pueden utilizar bacterias como una prueba de concepto de que las máquinas a nanoescala pueden "comer" los materiales necesarios para hacer copias de sí mismos. Este enfoque de la Nanotecnología puede ser importante para la fabricación de compiladores de materia eficientes, pero también es un asunto de pesadillas de la ciencia ficción (por ejemplo, Prey Michael Crichton).

Un tercer elemento en la definición de la Nanotecnología es el concepto de "sistemas". Aunque es fácil centrarse en un objeto en particular, muchas tecnologías se basan en una red de elementos tangibles e intangibles. En la Nanotecnología probablemente ocurre igual. Por ejemplo, si alguien crea un nanobot para patrullar los agentes patógenos en el torrente sanguíneo humano, este funcionará sólo si... un software está escrito para guiarlo, se han acordado las técnicas para su uso, se dispone de fuentes de energía para su funcionamiento, se puede comunicar a través de una red informática, etc. Además, los acuerdos de responsabilidades protegen al inventor, al médico y al paciente, las regulaciones ambientales están legisladas, se desarrolla una infraestructura de mantenimiento, y la propiedad intelectual está protegida por un único propietario o explícitamente asignada a bienes comunes. El ejercicio mental de imaginar una tecnología moderna, deja en claro cómo funciona una tecnología como conjunto de sistemas.

¿Son estas definiciones de la Nanotecnología útiles para nosotros? Todas ellas son formas de proporcionar alcance en torno a nuestro tema. Ellas son generalmente comprensibles para el público en general. Se pueden modificar si son menos útiles o ampliar con nuevas respuestas, sobre todo cuando los nuevos desarrollos en nanotecnología hacen estas respuestas limitadas. Son la base para formular las preguntas siguientes.

## **¿Por qué utilizamos la Nanotecnología?**

Las razones por las que utilizamos una tecnología no han cambiado mucho a lo largo de la historia.

Alimentos, viviendas, y guerras han motivado tecnologías casi tanto como, en sus inicios, a los seres humanos la confección de herramientas. Hemos visto cambios dramáticos en el siglo pasado relacionados con la salud, la comunicación y el entretenimiento. Esto sugiere que la Nanotecnología se ocupará de las mismas aplicaciones, con cambios continuos también. La pregunta “¿por qué se usa?”, puede ser la más obvia de las preguntas cuando nos enfrentamos a la Nanotecnología. Mientras que el inventor/científico/ingeniero pueden ser más entusiastas por la forma en que funciona, el público en general tiene que entender su aplicación. La siguiente lista es una manera de categorizar por qué usamos (o utilizamos) la Nanotecnología. En paréntesis hay ejemplos de cada aplicación.

- **Alimentos** (detecta cuando el alimento se descompone) [1]
- **Edificación** (aislamiento de aerogel en la actualidad y ventanas de diamante en el futuro - véase “La era del diamante”)
- **Comunicación** (conmutación óptica)
- **Transporte** [2]
- **Comercio** (compiladores de materiales podrían crear productos cuando sea necesario; venta de diseños de compiladores únicos)
- **Arte** (azul maya hace 1200 años)
- **Religión** (vidrierías en las catedrales)
- **Salud** [3]
- **Entretenimiento** [4]
- **Organización** (vigilancia constante en el cumplimiento de la ley)
- **Accidentes de Choques** (sensores a nanoescala, tanto fijos como móviles)
- **Escaneo** (lente para las ondas evanescentes para ver la escala atómica, y para pequeñas sondas espaciales)

Una forma completamente diferente de clasificar la Nanotecnología según su utilización puede ser: el almacenamiento (de átomos, de bits de información, o de energía), la manipulación (de átomos, de bits de información o de energía), la comunicación, la opinión, el costo y la decisión. Todo esto puede estar más cerca de la ingeniería, pero este punto de vista puede complementar la larga lista anterior. Y puede ser útil.

El autor es Director de la División de Educación del Foresight Institute, uno de los principales grupos de reflexión y organización de intereses públicos, centrado en las futuras tecnologías transformadoras. En lugar de enumerar todas las aplicaciones, el Foresight Institute aboga por las siguientes utilidades de la nanotecnología:

## 1. Proporcionar energía limpia y renovable

2. Suministrar agua potable a nivel mundial
3. Mejorar la salud y la longevidad
4. Recuperar y preservar el medio ambiente
5. Hacer que la tecnología de la información esté al alcance de todos
6. Permitir el desarrollo espacial

Entender por qué podemos o por qué debemos utilizar la Nanotecnología ofrece a los ciudadanos un punto de partida para su comprensión. Se trata de la base para las siguientes preguntas.



La Nanotecnología se utiliza en muchas áreas, desde la alimentación hasta la arquitectura.

## ¿De dónde proviene la Nanotecnología?

Cuando se encuentra algo nuevo podemos preguntarnos de dónde viene. Sistemas complejos, ya sean humanos o la Nanotecnología, se pueden entender mejor al aprender cuál ha sido su camino hasta el presente. Las respuestas a esta pregunta nos dicen cómo promover la Nanotecnología, o cómo controlarla. Podemos considerar seis posibles orígenes:

1. Tecnología e Ideas (física y conceptual)
2. Población educada (física y virtual)
3. Especialización y Trabajo interdisciplinario
4. Planificación o accidente

## 5. Biomimética

## 6. Diseño o evolución

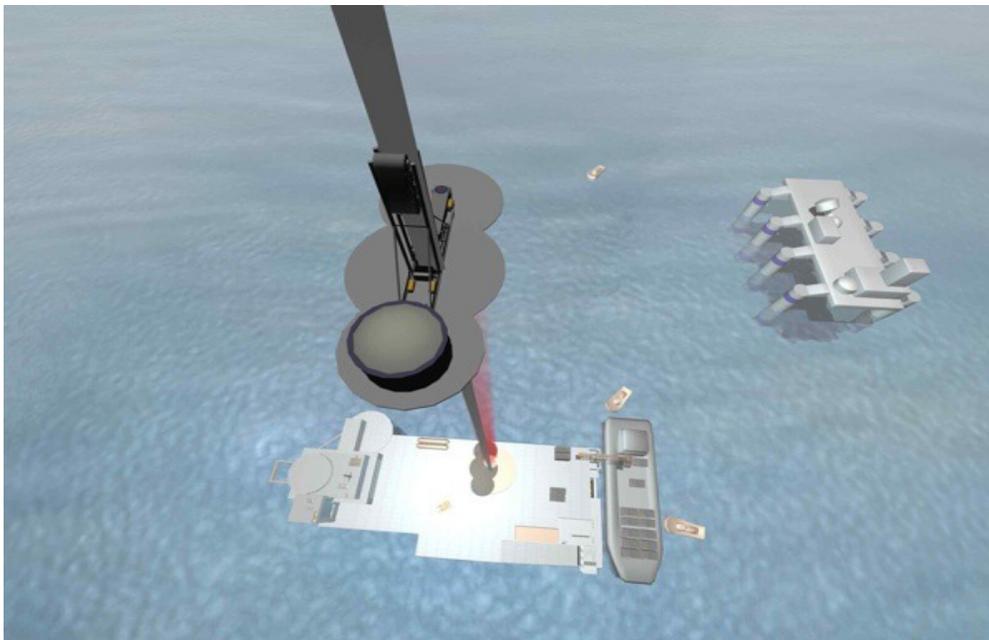
La tecnología implica tanto herramientas como procesos. Las herramientas que permiten el uso de la Nanotecnología incluyen microscopios electrónicos, nanomanipuladores y nanopinzas. Los procesos que permiten el uso de la Nanotecnología incluyen fabricación por arco de plasma, deposición de vapores, molino de bolas, autoensamblaje y nano litografía. Las ideas que permitieron el surgimiento de la Nanotecnología fueron las propuestas por Richard Feynman en una charla que dio en 1959: “Hay mucho sitio en el fondo” [5], así como las propuestas por Eric Drexler en múltiples libros y en el Foresight Institute [6]. Un programa de televisión en los EE.UU., llamado “MacGyver” se basaba en la creación de instrumentos a partir de materiales comunes. En este programa se sugirió la idea de que “Algo no es una tecnología hasta que la concebimos.” Los avances en la Nanotecnología pueden venir de aquellos que concibieron combinaciones de componentes existentes en formas que aun nadie había concebido.

Una población educada permite que las ideas se compartan, una idea construye otra y otras. Universidades, laboratorios de investigación, regiones (por ejemplo, Silicon Valley), y celebración de congresos son ejemplos de presencia de poblaciones físicamente educadas. La tecnología de comunicación, como Internet, también permite poblaciones prácticamente educadas. Fuera de la celebración de congresos, organizaciones como NanoDyf, Foresight Institute, nanoSIG y Nanotechnology Now conectan a las personas geográficamente dispersas. Pocos inventos vienen de una sola mente, por eso grandes poblaciones educadas, con flujo libre de ideas, se correlacionan con la innovación. Es evidente que otros factores, como un clima favorable a los negocios y las leyes de propiedad intelectual, afectarán esto también.

La especialización y la interdisciplinariedad son ambas orígenes de la Nanotecnología. Por ejemplo, un profesor de química desarrolló polímeros biodegradables que traspasarían los límites de protección de las células y las mitocondrias (Plataforma de Ingeniería de mezclado de nanopartículas para la distribución de fármacos de acciones terapéuticas para las mitocondrias [7]). Esta tecnología se usó para encapsular fármacos contra las enfermedades mitocondriales. Este proyecto requirió un conocimiento especializado en química, biología celular y farmacología. También requirió la cooperación y la coordinación a través de estas disciplinas. Algunos avances interdisciplinarios en la Nanotecnología devienen de equipos de especialistas. Otros avances vendrán de individuos que abarcan varias disciplinas, haciendo conexiones entre fenómenos creativos emergentes de forma más rápida y más ágil que un comité de expertos.

La Nanotecnología también tiene sus orígenes en lo programado y lo accidental. El microscopio de fuerza atómica (AFM) fue un plan concebido para tocar y detectar átomos, pero el descubrimiento de moléculas de Carbono-60 (buckyballs), fue un accidente. El químico Harry Kroto analizó la luz de las estrellas gigantes rojas, encontrando indicios de moléculas de carbono

de gran tamaño. Se comunico con Richard Smalley, químico físico, para utilizar su equipo de simulación y así simular las condiciones del carbono en el interior de una estrella. Se crearon varias estructuras estables de carbono, encontrando que la más estable de ellas contiene 60 átomos. De este resultado, los investigadores dedujeron que la forma de un balón de fútbol (fútbol americano) con pentágonos rodeados por hexágonos como la única molécula independiente con 60 átomos de carbono era la más estable. A partir de esto se ha desarrollado una industria en torno a la creación y aplicación de las esferas de carbono (algunas con más de 60 átomos), así como tubos. Pero estos científicos no tenían la intención de descubrir o aprender a crear una nueva molécula de carbono (más allá de los conocidos diamantes, grafito, y mezclas de átomos distintos con carbono). Simplemente querían saber lo que estaban haciendo las moléculas de carbono en las estrellas.



Planeación y diseño de una plataforma oceánica.

Las estrellas no son las únicas fuentes de inspiración. La biología ha desarrollado estructuras a nanoescala por miles de millones de años. La identificación de los aspectos de la vida, útiles para nosotros, y su adaptación, es biomimética. Las patas del geco se ajustan a los contornos moleculares de cualquier superficie en que se encuentran (a través de fuerzas de Van der Waals) a manera de un pegamento sin residuo. Las arañas tejen largas cadenas de proteínas con estructuras a escala molecular, suficientes para crear seda con aplicaciones especializadas (en estructuras, en estiramientos, en pegamento, en balanceo, en caídas, y como embalajes) y un gran rendimiento. Los abalones crean sus conchas de carbonato de calcio (creta), y un poco de proteína (2%), a escala molecular, logrando una alta resistencia, especialmente en comparación con la tiza. Durante más de mil millones de años muchos procesos metabólicos, incluyendo la fotosíntesis han sido realizados, de mil maneras distintas, por bacterias y un sin número de organismos más complejos. El ADN

puede ser programado y se replica de forma masiva, por lo que se ha adaptado para plegarse sobre si mismo en puntos específicos; los sitios donde están estos puntos de plegado (como las dos caras de un cierre de velcro) determinan la forma de la molécula plegada. Esta técnica llamada “origami de ADN”, se basa en la genética molecular para la construcción de bloques moleculares masivos.

Históricamente, la mayoría de las tecnologías han sido diseñadas. Históricamente, la vida ha evolucionado sin diseño. La tecnología que deseamos puede ser demasiado compleja para su diseño, pero la naturaleza ha desarrollado una vida mucho más complicada que nuestras tecnologías. Los ingenieros han comenzado ya la evolución de los nuevos sistemas, en lugar de diseñarlos. Circuitos de telecomunicaciones, simulados por computadoras, pueden ser modificados en otros muchos circuitos ligeramente diferentes, y se pueden poner a prueba automáticamente con programas informáticos. Los mejores circuitos, en función de los parámetros establecidos por los seres humanos, perduran hasta la próxima generación de circuitos no modificados y/o modificados con ligeras diferencias. Generación tras generación, la simulación por computadoras analiza los circuitos de bajo rendimiento y aprovecha lo mejor de ellos. Los resultados de miles de generaciones de circuitos obtenidos con tan solo unos pocos días de simulación por computadora pueden ser superiores a los diseñados por seres humano -que toman mucho más tiempo. Debido a que las computadoras mejoran en velocidad exponencialmente, los entornos de simulación generan productos más complejos en menos tiempo. Las nanotecnologías complejas, que pueden ser evaluadas por simulación de computadora, pueden surgir durante este proceso. El diseño no puede quedar obsoleto, pero podemos elegir entre el diseño y la evolución del diseño basada en la aplicación. Los enfoques son diferentes:

<b>DISEÑO</b>	<b>EVOLUCIÓN DEL DISEÑO</b>
Diseñados	Desarrollados
Previsibles	Direccionables
Eficientes	Adaptables
Controlables	Subsistemas inescrutables
Subsistemas de fácil comprensión (reutilizables)	Robustos
Fácil ruptura	Resistentes
Probados en condiciones sencillas	Probados en condiciones complejas

Saber de dónde proviene la Nanotecnología nos ayuda a comprender sus características y limitaciones (como en los sistemas diseñados y evolucionados). También nos ayuda a decidir la forma en que queremos promover o controlar el desarrollo de nuevas formas. Los estudiantes pueden elegir campos de estudio que permitan la investigación en Nanotecnología. Los políticos pueden promover leyes o financiamientos para nuevos desarrollos o su control, ya sea para proteger el medio ambiente o la estructura política existente.

## ¿Cómo funciona la Nanotecnología?

Anteriormente hemos comentado que la respuesta a esta pregunta implica más a la ciencia y a la ingeniería. El nivel de respuestas útiles para el público en general sería más contextual, patrones que trascienden de las nanotecnologías específicas. Por ejemplo, la escala de tamaño mayor o menor afecta en mayor o menor grado a algunas características de rendimiento (resistencia de un material al peso de una hormiga teniendo en cuenta que ella es pequeña). La estructura molecular puede determinar el comportamiento mecánico (concha de abalón), eléctricos (nanotubos de carbono) y óptico (alas de mariposas iridiscentes). En el límite inferior de la escala molecular, las propiedades físico-cuánticas entran en juego, por lo que la Nanotecnología puede ser diseñada (o revolucionada!) para explotar esos extraños, y en cierto modo impredecibles, comportamientos eléctricos y ópticos.

Casi todas las tecnologías requieren energía para funcionar, por lo que comprender las fuentes y las transformaciones de la energía es útil para comprender la Nanotecnología. Algunos sistemas presentan propiedades que sus componentes no tienen (por ejemplo, una colonia de hormigas frente a una hormiga). La organización de los sistemas pueden ser centralizada o distribuida, y los cambios a veces van hacia atrás y hacia adelante como evolucionan las tecnologías (ordenadores centrales, seguidos por PCs, seguidos por los servidores web centrales, seguidos por teléfonos inteligentes, etc.).

Los sistemas complejos están a menudo compuestos de bloques de construcción repetidos (transistores en un circuito integrado) y puertas de salida (equipos compuestos por aplicaciones que se ejecutan en sistemas operativos programados para los microprocesadores integrados con puertas lógicas constituidas por transistores basados en materiales semiconductores). La repetición de bloques y las puertas de salida son una manera de tratar con diseños complejos, pero que se encuentran también en los sistemas evolucionados (células similares en animales y plantas, que tienen estructuras de puertas de salida para el metabolismo y la circulación). Los sistemas computacionales y naturales son impulsados por la informática, sean programas de computadoras o de códigos de ADN, para que podamos entender algunos sistemas a través de la información que procesan, prestando poca atención al elemento que procesa esta información (se podría entender mucho de como funciona un robot a través de los algoritmos por los que se procesa la información, independiente de si el robot es un patrullero a nanoescala a través de los torrentes sanguíneos humanos o si es un objeto mucho más grande).

## ¿Cómo cambia la Nanotecnología?

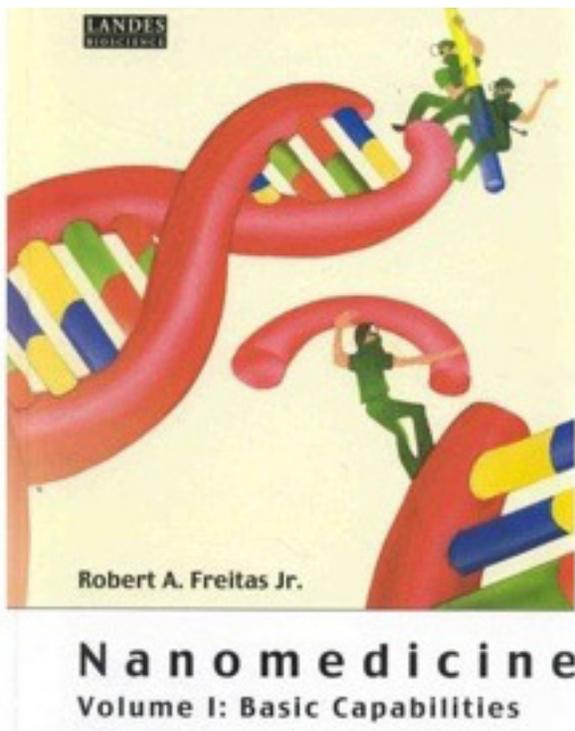
La Nanotecnología puede desaparecer, aparentemente, por la mezcla con otras tecnologías existentes (La empresa Nano-Tex Material hace pantalones, camisas, prendas de vestir en general que son anti-humectantes y auto-limpiables, pero por lo demás parecen textiles comunes). Un viejo aforismo dice que “la necesidad es la madre de la invención”. Esto será cierto para la Nanotecnología, pero una necesidad también puede ser la hija de la invención. Por ejemplo el descubrimiento de los fulerenos y los nanotubos de carbono, además de mejorar continuamente sus técnicas de fabricación, motivan la búsqueda de alguna manera de utilizarlos para resolver problemas aun sin solución. La incertidumbre cuántica, un problema conocido, que los sistemas computacionales han llevado hasta la escala nanométrica, se ha explotado para crear ordenadores cuánticos, que serán capaces de realizar cálculos muy rápidamente, que tomaría más tiempo que la vida del Universo si los realizáramos con los ordenadores convencionales.

Una tecnología cambia cuando una mejoría a la misma representa una ventaja; cuando dicha ventaja es visible, cuando es compatible con la infraestructura existente, y cuando el riesgo es bajo. Los nanotubos de carbono superan a la electrónica de silicio eléctrica y térmicamente en el procesamiento de alta velocidad, pero son caros e incompatibles con los componentes electrónicos de silicio en los sistemas que conforman un procesador. Cuando esos obstáculos sean superados, los nanotubos de carbono pueden dar lugar a computadoras mucho más rápidas y más pequeñas. Una tecnología cambia cuando una mejoría tecnológica puede crear la siguiente versión. Los nuevos y rápidos ordenadores, ya se utilizan para diseñar los próximos ordenadores, más rápidos aún. Pero la Nanotecnología promete un efecto auto replicante aún más sorprendente cuando un ensamblador de sustancia a nanoescala hace otro, y ambos hacen otro, etc.

Una tecnología cambia a partir de ideas, como se sugirió anteriormente en la sección II.4. Los memes (meme: unidad teórica de información cultural transmisible de un individuo a otro, o de una mente a otra, o de una generación a la siguiente), las ideas y los sistemas de ideas que se propagan de un cerebro al próximo en otra generación, como los genes se propagan de una generación a la siguiente, pueden orientar los cambios que se producen en la Nanotecnología. La idea de copiar a la naturaleza a través de la biomimética afecta lo que los seres humanos piensan diseñar. La idea de disminuir el tamaño de las antiguas computadoras hasta escalas nanométricas ha dado lugar a prototipos, y puede dar lugar a una revolución en la computación. La mejoría que introduce la Nanotecnología a la inteligencia artificial o la cognición puede ofrecer un terreno fértil para el “salto” de los memes en los cerebros humanos. Esto podría conducir al cambio cada vez más acelerado de la tecnología descrito como una singularidad; con memes que permitan a los seres humanos acelerar la propagación de la Nanotecnología. Entonces: ¿Cómo nos afectará?

## ¿Cómo nos cambia la Nanotecnología?

La Nanotecnología está empezando a cambiar nuestra salud y la esperanza de vida a través de la nanomedicina. Anteriormente se citó un ejemplo de como encapsular un fármaco dentro de un polímero diseñado para atravesar las barreras de la célula humana y sus mitocondrias; suministrar el fármaco directamente a las mitocondrias en lugar de inundar todo a lo largo del cuerpo del paciente. Los investigadores diseñan la nanoescala del fármaco de acuerdo con su tamaño y su carga eléctrica, de forma que pueda atravesar las capas protectoras de las mitocondrias. En el futuro, los robots a nanoescala (nanobots) podrán ser inyectados en el torrente sanguíneo de los seres humanos para "cazar" patógenos o destruir plaquetas. Sí, o cuando, los nanobots puedan regenerar las células "defectuosas" en el organismo humano, el envejecimiento puede ser detenido. Esto forzaría a las preguntas filosóficas sobre cuanto tiempo deben vivir las personas, así como el impacto de esta cuestión en la población y la economía mundial. ¿Se aburrirá la gente de vivir durante siglos, o estarán inspirados para el aprendizaje continuo, en lugar de prepararse para la jubilación y el final de la vida? ¿Cómo interactúa la gente cuando sus edades pueden diferir en siglos?



Nanomedicine, Vol. I: Basic Capabilities (Landes Bioscience, 1999)

La Nanotecnología cambiará dramáticamente nuestro trabajo cuando los "compiladores de materia" se hagan viables y tan cómodos de usar como los hornos de microondas. Las impresoras 3D todavía están a un par de órdenes de magnitud por encima de la precisión nanométrica, y se limitan al uso de materiales que puedan ser depositados durante la impresión. Los primeros "compiladores de materia" podrán ser utilizados para construir más compiladores de materia. Cuando se vuelvan tan comunes como los hornos de microondas, podremos tener alimentos moleculares en hogares y empresas, del mismo modo que ya se cuenta con electricidad, agua y gas. La compra podrá consistir en comprar un diseño en el mercado de forma equivalente

a como se compra un iTunes, y luego descargar los programas de elaboración de los diseños. Una vez que un compilador de materia se adquiere, gran parte del costo de un producto estará en el diseño siempre que las materias primas sean de bajo costo, como sucede actualmente con los servicios públicos de la electricidad, el agua, y el gas. Este entorno económico recompensaría a los

que elaboran los diseños, pero no a los que fabrican los productos.

Nuestra recreación y la percepción de la realidad cambiarán gracias a la nanotecnología. La realidad virtual se acercaría más a la realidad con cualquiera de las direcciones nanotecnológicas. En primer lugar serían las “lentes de contacto” que superponen la visión gráfica de nuestro mundo, la visión de un mundo que se mueve en la misma medida en que avanzamos. En segundo lugar, la hipotética aparición de pequeños robots, Nanobots o al menos Microbots (robots a escala micrométrica) coordinados para aparecer en escena como algo previamente programado. O en tercer lugar, nanobots que viajan a través del torrente sanguíneo hasta el cerebro y conectan las partes del cerebro de una manera coordinada para estimular los sentidos de ver, oír, oler, o sentir algo. Con cualquiera de estas tres direcciones nanotecnológicas, podríamos crear nuestras propias apremiantes realidades para la exploración, la recreación o la adicción. Si los nanobots pudieran proporcionar todo esto, además de estimular partes del cerebro para simular centros del placer, el resultado podría ser más adictivo que cualquier droga conocida.

La Nanotecnología podría cambiar nuestra naturaleza humana y la supervivencia misma de nuestra especie. La realidad virtual descrita anteriormente, es sólo un aspecto de cómo cambiar la forma en que nuestros cerebros interactúan. El funcionamiento de los nanobots a escala molecular les permitiría interactuar con nuestro cerebro en un nivel objetivo. ¿Nos daría eso la capacidad de sentir y percibir más allá de nuestros cuerpos físicos? ¿Nos daría acceso a niveles de información más rápidos y más íntimos que los que ya ofrecen los teléfonos inteligentes? ¿Se nos permitiría trabajar de forma integrada como una mente colectiva, en contacto permanente con muchos otros? ¿Nos modificaría tanto de manera que tendríamos poco en común con los seres humanos no modificados por la nanotecnología? La informática y el poder de la tecnología de la comunicación, multiplicado por la potencia de los dispositivos a nanoescala, será difícil de evitar. Podrían ser utilizados por los seres humanos modificados a mejor o por una tecnología que supere a los seres humanos. Con tanto en juego, ¿qué podemos hacer para influir en las direcciones en las que se desarrolla la Nanotecnología?

## ¿Cómo cambiamos la Nanotecnología?

El científico informático estadounidense Alan Kay [8] dijo: “La mejor manera de predecir el futuro es inventarlo.” Los científicos que desarrollan la Nanotecnología pueden dar la primera y única respuesta a la pregunta que puede hacerse el público en general: ¿cómo cambiamos la Nanotecnología? Existen muchos aspectos que influyen en las direcciones en las que la Nanotecnología se desarrolla.

Los ingenieros trabajan a menudo con materiales para averiguar comportamientos específicos, mucho antes de que los científicos diseñen modelos para el comportamiento general

de dichos materiales. Los científicos todavía están tratando de averiguar cuáles son las leyes que predicen que materiales pueden ser superconductores a temperatura ambiente. Sin embargo los ingenieros están probando y utilizando materiales que son superconductores. Del mismo modo, la ciencia sigue avanzando en el estudio de modelos de comportamiento de los nanotubos de carbono, mientras que los ingenieros están fabricándolos y usándolos. Los ingenieros también se basan en los descubrimientos de los científicos, haciéndolos prácticos, escalables y comerciales.

Para hacer "algo" comercial se requiere de inversión, los inversores privados y aquellos que dirigen las inversiones directas para los gobiernos y otras organizaciones también cambian la Nanotecnología. Las características del inversor o de la organización que representa pueden determinar cómo la inversión es dirigida. ¿Qué riesgo se van a tolerar? ¿Cómo se definen los riesgos (por ejemplo, capital riesgo, riesgo medio ambiental, riesgo para los seres humanos)? ¿Qué plazo de tiempo interesa para hacer la inversión? ¿La inversión se centra en una industria, o la salud, o la energía, o el medio ambiente? La historia de la tecnología muestra que las invenciones a menudo conducen a extrañas aplicaciones: los láseres se inventaron para explorar las células biológicas, no para practicar cirugía ocular o reproducir DVD. Eso sugiere que aún la inversión bien calculada puede producir resultados no deseados, especialmente la inversión en investigación básica.

Si la Nanotecnología emergente va en direcciones que el público en general no quiere, el gobierno puede intervenir. Las leyes que controlan el impacto ambiental y la responsabilidad corporativa pueden influir en el desarrollo o comercialización de la Nanotecnología o un producto nanotecnológico. Como se mencionó anteriormente, los gobiernos también son inversores, sobre todo en la investigación básica, donde el beneficio de la inversión es incierto o improbable a corto plazo.

Los individuos y las organizaciones no gubernamentales (ONG) también promueven o cuestionan las formas de la Nanotecnología. Ya sea hablando en una conferencia, escribiendo artículos o libros, o con el uso de la gran variedad de medios de comunicación disponibles, los activistas pueden alentar o desalentar las direcciones en que la nanotecnología se desarrolla. El Foresight Institute lleva a cabo lo que se denomina como "la nanotecnología beneficiosa". El Grupo ETC (Action Group on Erosion, Technology and Concentration) advierte sobre cómo la Nanotecnología podría dañar el medio ambiente.

Los profesores estimulan a sus alumnos a explorar áreas nuevas o a emprender cualquiera de los roles de la nanotecnología ya descritos. Tal vez, lo más útil que los maestros pueden contribuir a crear es el pensamiento crítico como fundamento para cualquiera de estas actividades que influyen en la nanotecnología. Aplicando esto, se requiere que entendamos los costos y beneficios de su desarrollo o aplicación.



Alan Kay pionero de la programación orientada a objetos.

## ¿Cuáles son los costos y beneficios de la Nanotecnología?

La tecnología nos permite hacer concesiones diferentes, consiguiendo un beneficio a cambio de un precio. La Nanotecnología sigue este patrón. Nos permite desarrollar nuevos dispositivos, haciendo los anteriores obsoletos (con los costes medioambientales y de reciclaje incluidos). Nos permite hacer cosas nuevas, haciéndonos dependientes de las mismas. Se puede aumentar la complejidad de nuestros sistemas, dándonos las características deseadas, pero reduciendo la previsibilidad de dichos sistemas. Nos permite elegir entre diferentes costos catastróficos y crónicos (por ejemplo, los nanotubos de carbono aumentan la resistencia de los equipos deportivos, lo que reduce la probabilidad de una lesión, pero cuando hayan sido dejados de utilizar pueden degradarse en formas que dañan el medio ambiente). Permite un mayor control de la pérdida de la libertad, o una mayor libertad a la pérdida de control (por ejemplo, vigilancia omnipresente a través de redes malladas poco visibles de nano-sensores que podrían ayudar al control del gobierno para evitar las amenazas terroristas, pero que inhiben la libertad de los ciudadanos).

Estos compromisos (y muchas más que no se mencionan) afectan a las personas directamente involucradas con la Nanotecnología y también a aquellos que no la han elegido o no la usan como tecnología. Dichos compromisos pueden ser anticipados o pueden ser una sorpresa. Podemos ver

esto en tres dimensiones: los costes frente a beneficios, los beneficios directos versus los beneficios indirectos, y los compromisos previstos contra los compromisos imprevistos. Si alguien está promoviendo una nanotecnología para un sector de la población, ese alguien va a tratar de predecir los beneficios directos. Menos atención se puede prestar a los costos no previstos que afectan a los que están fuera de ese sector de la población. Vemos esto con muchos productos tecnológicos que son beneficiosos para el usuario, pero una vez eliminados pueden ser un peligro para el medio ambiente, en particular para aquellos que les ha tocado vivir cerca de los basureros. El plomo en el interior de la pantalla de tubos de rayos catódicos de los televisores (antes de las pantallas planas), protegía a los televidentes de electrones inducidos por la radiación, pero contamina el agua y la tierra una vez desechados, y aun siguen contaminando en aquellos países donde se utilizan esos televisores ya obsoletos. Con la Nanotecnología, también, los ingenieros pueden centrarse más en los beneficios para el usuario y pasar por alto el impacto de tecnologías pasadas. Nuestros valores determinan estas opciones.

## ¿Cómo evaluamos la Nanotecnología?

Aunque la Nanotecnología es diferente en muchos aspectos respecto a las tecnologías convencionales, las formas en que la evaluamos puede que no sea tan diferente. Los individuos y las sociedades han sostenido durante mucho tiempo los valores con los cuales se mide si algo es bueno o malo. Si no reconocemos estos enfoques diferentes, no entenderemos por qué ciertos resultados de la Nanotecnología puedan considerarse como buenos o malos. Podríamos estar de acuerdo con las cualidades objetivas —las respuestas a las preguntas anteriores, sin dejar de discrepar fuertemente sobre si es bueno o malo. Tendemos a estar familiarizados con la valoración de la economía y la ecología. Estas pueden estar en desacuerdo si es más barato construir algo sin tener en cuenta su impacto sobre el medio ambiente u otros aspectos de la sostenibilidad. También estamos familiarizados con la autoridad, quizá religiosa, para determinar el valor de algo. Menos conocidos son los valores del misticismo, la tradición, el poder, o la espiritualidad. Mientras que las sociedades limitadas por el misticismo no desarrollen la Nanotecnología, pueden verse afectadas por la misma. E incluso a las sociedades avanzadas que aun mantienen “semillas de antiguos mitos de rechazo a las nuevas tecnologías” (por ejemplo, en los U.S. muchos edificios altos no designan un piso 13, por razones de superstición).

El mito, la tradición, el poder, la autoridad, la economía, el medio ambiente y la ética es el marco adaptado del libro “Dinámica Espiral”, escrito por Don Edward Beck y Christopher Cowan [9]. Más importante que cualquier marco particular de valores, es el reconocimiento de que las personas y organizaciones asumen una escala de valores. Se puede asumir que todo el mundo comparte estos valores o debería compartírselos. Este supuesto conduce en ocasiones a desacuerdos y conflictos.

## Conclusiones

Al pensar críticamente acerca de la Nanotecnología, necesitamos un fundamento de su identidad (¿Qué es? ¿Por qué usarla? ¿De dónde viene? ¿Cómo funciona?). Encima de eso construimos su cambio (¿Cómo cambia? ¿Cómo nos cambia? ¿Cómo la cambiamos?). Con esa base podemos evaluar (¿Cuáles son sus costos y beneficios? ¿Cómo la evaluamos?). Todo el análisis anterior es un intento del autor de difundir el pensamiento crítico a través de un enfoque accesible para el público en general. No se afirma que este marco de preguntas es el mejor, sólo que es un marco sencillo y a la vez importante para el pensamiento crítico de las grandes masas de la sociedad acerca de la Nanotecnología y, por otro lado, lo suficientemente resistente como para adaptarse a una Nanotecnología en constante cambio y evolución. El autor ha querido manifestar su experiencia alrededor del desarrollo del pensamiento crítico acerca de una tecnología increíblemente poderosa, y muy importante para la sociedad.

**Agradecimientos.** El autor agradece a Joaquín Tutor Sánchez y la Red NANODYF del Programa CYTED por la oportunidad de presentar la Conferencia Invitada “Pensamiento Crítico acerca de la Nanotecnología” en el Segundo Simposio Iberoamericano de Divulgación y Formación en Nanotecnología, NANODYF’2012, celebrado en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México del 11 al 13 de Junio de 2012. El marco contextual de las preguntas referidas en el artículo se experimentó tanto en programas de estudio de escuelas como en libros antes de ser aplicada al caso de la Nanotecnología; este proyecto de desarrollo fue posible gracias a los asesores del KnowledgeContext de los Estados Unidos de Norteamérica y en particular, al asesoramiento pedagógico del profesor Addie Holsing que fue clave para el proyecto.

## Referencias

- [1] *A public service announcement for packaging?* [En línea]. Nueva York: Paking world, Febrero 19, 2013. Disponible en: <http://www.packworld.com/trends-and-issues/trainingeducation/public-service-announcement-packaging>
- [2] KILDUFF, Shane. LiftPort Inc. *Nanotechnology Now* [En línea]. Julio 2003. Disponible en: [http://www.nanotech-now.com/Art\\_Gallery/LiftPort.htm](http://www.nanotech-now.com/Art_Gallery/LiftPort.htm)
- [3] FREITAS, A. Robert. *Nanomedicine, Volume I: Basic Capabilities*. Landes

*Bioscience* [En línea]. Georgetown, TX: 1999. Disponible en: <http://www.nanomedicine.com/NMI.htm>

[4] RUS, Daniela. Utility Fog Prototype. *Foresight Institute* [En línea]. Palo Alto, CA: Febrero 4, 2001. Disponible en: <http://www.foresight.org/nanodot/?p=411>

[5] FEYNMAN, P. Richard. *Plenty of Room at the Bottom* [En línea]. Pasadena: Diciembre 1959. Disponible en: [http://www.pa.msu.edu/~yang/RFeynman\\_plentySpace.pdf](http://www.pa.msu.edu/~yang/RFeynman_plentySpace.pdf)

[6] LEWIS, B. James. *Foresight Institute*. Disponible en: <http://www.foresight.org/>

[7] MARRACHE, Sean y Dhar, Shanta. Engineering of blended nanoparticle platform for delivery of mitochondria-acting therapeutics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* [En línea]. Massachusetts: Agosto 24, 2012. Disponible en: <http://www.pnas.org/content/109/40/16288>

[8] Alan Kay. *Wikipedia* [En línea] 19 de Marzo 2013. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Alan\\_Kay](http://es.wikipedia.org/wiki/Alan_Kay)

[9] EDWARD B. Don y Cowan, Christopher. *Dinámica espiral: Capítulo 1* [En línea], 1997. Disponible en: <http://www.spiraldynamics.com/book/chap1esp.htm>