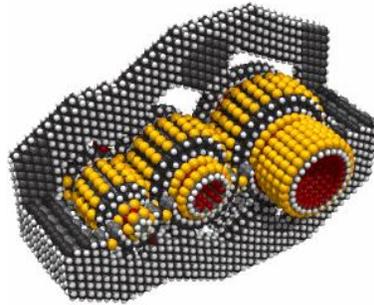


## Nanotecnología: el arte de lo invisible

¿Qué es la nanotecnología?

Una definición básica: La nanotecnología es la ingeniería de sistemas funcionales a escala molecular. Esto abarca tanto el trabajo y los conceptos que están más avanzados actualmente.

En su sentido original, "nanotecnología" se refiere a la capacidad proyectada para construir elementos de abajo hacia arriba, utilizando técnicas y herramientas que se están desarrollando hoy para hacer productos de alto rendimiento y completos.



**Figura 1. Con 15.342 átomos, este engranaje paralelo reductor de velocidad es una de los mayores dispositivos nano mecánicos, siempre modelados en detalle atómico.**

El significado de la nanotecnología

Cuando K. Eric Drexler (derecha) popularizó la palabra "nanotecnología" en la década de 1980, que estaba hablando de la construcción de máquinas en la escala de moléculas, unos pocos nanómetros de anchos motores, brazos de robot, e incluso los ordenadores enteros, mucho más pequeños que una célula. Drexler pasó los próximos diez años describiendo y analizando estos dispositivos increíbles, y respondiendo a las acusaciones de la ciencia ficción. Mientras tanto, la tecnología mundana estaba desarrollando la capacidad de construir estructuras simples a escala molecular. A medida que la nanotecnología se convirtió en un concepto aceptado, el significado de la palabra pasó a abarcar los tipos más simples de la tecnología a escala nanométrica. La Iniciativa Nacional de Nanotecnología EE.UU. fue creada para financiar este tipo de nanotecnología: su definición incluye cualquier cosa menos de 100 nanómetros con propiedades novedosas.

Gran parte del trabajo que se realiza hoy que lleva "nanotecnología" en el nombre no es la nanotecnología en el sentido original de la palabra. La nanotecnología, en su sentido tradicional, significa construir cosas de abajo hacia arriba, con precisión atómica. Esta capacidad teórica fue concebida ya en 1959 por el famoso físico Richard Feynman.

Quiero construir un billón de diminutas fábricas, modelos de uno al otro, que son de fabricación al mismo tiempo. Los principios de la física, por lo que se puede ver, no hablan en contra de la posibilidad de maniobrar las cosas átomo por átomo. No es un intento de violar cualquier ley; es algo, en principio, que se puede hacer; pero en la práctica, no se ha hecho porque somos demasiado grandes. - (Feynman, 1999), ganador del Premio Nobel de Física.

Sobre la base de la visión de Feynman de fábricas en miniatura utilizando nanomáquinas para construir productos complejos, la nanotecnología avanzada (a veces referido como la fabricación molecular) hará uso de mecanoquímica, posicionalmente controlada y guiada por sistemas de máquinas moleculares. La formulación de un plan de trabajo para el desarrollo de este tipo de nanotecnología es ahora uno de los objetivos de un proyecto de hoja de ruta, tecnológica de base amplia dirigida por Battelle (el gestor de varios laboratorios nacionales de EE.UU.) y el Instituto Foresight de nanotecnología.

Poco después de esto se prevé crear maquinaria molecular, que dará lugar a una revolución de la fabricación, probablemente causando graves trastornos. También tiene graves implicaciones económicas, sociales, ambientales y militares.

#### Cuatro generaciones

Roco, Mirkin, & Hersam, (2011) de la Iniciativa Nacional de Nanotecnología EE.UU. han descrito cuatro generaciones de desarrollo de la nanotecnología. La era actual, como la representa Roco, es de nano estructuras pasivas, materiales diseñados para realizar una tarea. La segunda fase, a la que apenas estamos entrando, introduce nano estructuras activas para realizar múltiples tareas; Por ejemplo, actuadores, dispositivos de administración de fármacos, y sensores. Se espera que la tercera generación emergente para comenzar en torno a 2010 cuente con nano sistemas con miles de componentes que interactúan. Pocos años después de eso, los primeros nano sistemas integrados, funcionando (de acuerdo con Roco) al igual que una célula de mamífero con los sistemas jerárquicos dentro de los sistemas, se espera que sean desarrollados.

Algunos expertos todavía pueden insistir en que la nanotecnología puede hacer referencia a la medición o visualización en la escala de 1-100 nanómetros, pero el consenso parece estar formado alrededor de la idea (presentada por la NNI de Mike Roco) que controlar la reestructuración de la materia a escala nanométrica es un elemento necesario. La definición de CRN es un poco más precisa que eso, pero a medida que avanza el trabajo a través de las cuatro generaciones de la nanotecnología que conducen a los nano sistemas moleculares, incluirán la fabricación molecular, que se cree, va a ser cada vez más evidente que la "ingeniería de sistemas funcionales a escala molecular" es por lo que se dice que la nanotecnología es realmente todo.

## Definiciones en conflicto

Por desgracia, las definiciones conflictivas de la nanotecnología y distinciones borrosas significativamente diferentes en los campos han complicado el esfuerzo por comprender las diferencias y establecer una política sensata y eficaz.

Los riesgos de las tecnologías a nano escala de hoy en día (toxicidad de las nano partículas, etc.) no pueden ser tratados igual que los riesgos de fabricación a largo plazo molecular (perturbación económica, raza brazos inestables, etc.). Es un error ponerlos juntos en una canasta para la consideración política, cada uno es importante para hacer frente, pero ofrecen diferentes problemas y requieren diferentes soluciones. Tal como se utiliza hoy en día, el término nanotecnología se refiere normalmente a un amplio conjunto de campos que en su mayoría desconectados. Esencialmente, cualquier cosa lo suficientemente pequeña e interesante puede ser llamado nanotecnología. Mucho de esto es inofensivo. Para el resto, la mayor parte del daño es de calidad familiar y limitada. Sin embargo, como veremos más adelante, la fabricación molecular traerá riesgos desconocidos y nuevas clases de problemas.

## Tecnología de propósito general

La nanotecnología se refiere a veces como una tecnología de propósito general. Eso es porque en su forma avanzada tendrá un impacto significativo en casi todas las industrias y todos los ámbitos de la sociedad. Se ofrecerán mejor construidos, más duraderos, más limpios, más seguros y más inteligentes productos para el hogar, para las comunicaciones, la medicina, el transporte, la agricultura y la industria en general.

Imagine un dispositivo médico que viaja a través del cuerpo humano para buscar y destruir a los pequeños grupos de células cancerosas antes de que puedan propagarse. O una caja del tamaño de un terrón de azúcar que contiene todo el contenido de la Biblioteca del Congreso. O materiales mucho más ligeros que el acero, que poseen diez veces más fuerza. (Karkare, 2008).

## Tecnología de doble uso

Como la electricidad o los equipos antes que ella, la nanotecnología ofrecerá en gran medida la mejora de la eficiencia en casi todas las facetas de la vida. Pero como una tecnología de propósito general, será de doble uso, lo que significa que tendrá muchos usos comerciales y también tendrá muchos usos en decisiones de armas militares y herramientas de vigilancia mucho más poderosas. Por lo tanto, representa no sólo maravillosos beneficios para la humanidad, sino también graves riesgos.

Una comprensión fundamental de la nanotecnología es que ofrece no sólo los mejores productos, sino un proceso de fabricación mejorado enormemente. Una computadora puede hacer copias de los archivos de datos esencialmente, tantas copias como desee con poco o ningún costo. Puede ser sólo una cuestión de tiempo hasta que la construcción de productos llegue a ser tan barata como la copia de archivos. Ese es el

verdadero significado de la nanotecnología, y por qué se considera a veces como "la próxima revolución industrial."

Mi opinión es que la revolución de la nanotecnología tiene el potencial de cambiar a Estados Unidos en una escala igual a, si no mayor, que la revolución de la computadora. (Congreso de EUA, 2006).

El poder de la nanotecnología se puede encapsular en un dispositivo aparentemente sencillo llamado nano fábrica personal que pueda sentarse en el mostrador o escritorio. Lleno de procesadores en miniatura químicos, informáticos y robóticos, producirá una amplia gama de artículos de forma rápida, limpia y barata, productos de construcción directamente a partir de planos.

#### La proliferación exponencial

La nanotecnología no sólo permitirá hacer muchos productos de alta calidad a muy bajo costo, sino que permitirá hacer nuevas nano fábricas al mismo bajo costo y con la misma velocidad rápida. Esta singular (fuera de la biología, que es) capacidad de reproducir sus propios medios de producción es la razón por lo que se dice que la nanotecnología es una tecnología exponencial. Representa un sistema de fabricación que será capaz de hacer más fábricas de sistemas que pueden construir fábricas rápidamente y poco onerosa, y limpiamente. Los medios de producción serán capaces de reproducir de forma exponencial, por lo que en tan sólo unas semanas se concebible que unas nano fabricas podrían convertirse en miles de millones. Es un revolucionario, transformador, de gran alcance, y potencialmente muy peligroso beneficioso de la tecnología.

¿Qué tan pronto todo sucederá esto? Las estimaciones conservadoras suelen decir de 20 a 30 años, o incluso mucho más tarde que eso. Sin embargo, CRN está preocupado de que pueda ocurrir más pronto, muy posiblemente en la próxima década. Esto es debido al rápido progreso realizado en tecnologías de apoyo, tales como la óptica, la nano litografía, mecano química y prototipos 3D. Si no llega tan pronto, podemos no estar adecuadamente preparados, y las consecuencias pueden ser graves.

Creemos que no es demasiado temprano para empezar a hacer algunas preguntas difíciles y frente a las cuestiones:

-¿Quién será el propietario de la tecnología?

-¿Va a ser muy restringido, o ampliamente disponible?

-¿Qué va a pasar con la brecha entre ricos y pobres?

-¿Cómo se puede controlar armas peligrosas, y puede prevenir la carrera de armamentos peligrosos?

Muchas de estas preguntas se plantearon por primera vez hace una década, y aún no han sido respondidas. Si las preguntas no son respondidas con la deliberación, las respuestas van a evolucionar de forma independiente y nos llevará por sorpresa; la sorpresa es probable que sea desagradable.

Es difícil decir con certeza qué tan pronto esta tecnología va a madurar, en parte porque es posible (especialmente en los países que no tienen las sociedades abiertas) que los programas de desarrollo industrial militar clandestino han llevado a cabo durante años esto sin nuestro conocimiento.

No podemos decir con certeza que la nanotecnología a gran escala no se desarrollará en los próximos diez años, o incluso cinco años. Puede tomar más tiempo que eso, pero la prudencia y, posiblemente, nuestra supervivencia demanda que nos preparemos ahora para el escenario de desarrollo temprano.

### Conceptos fundamentales en la nano ciencia y la nanotecnología

Es difícil imaginar cuán pequeña es la nanotecnología. Un nanómetro es una mil millonésima parte de un metro, o  $10^9$  de un metro. Aquí están algunos ejemplos ilustrativos:

-Hay 25, 400,000 nanómetros en una pulgada

-Una hoja de periódico es de unos 100.000 nanómetros de espesor

-En una escala comparativa, si un mármol eran un nanómetro, entonces uno vatímetro dará resultados del tamaño de la Tierra

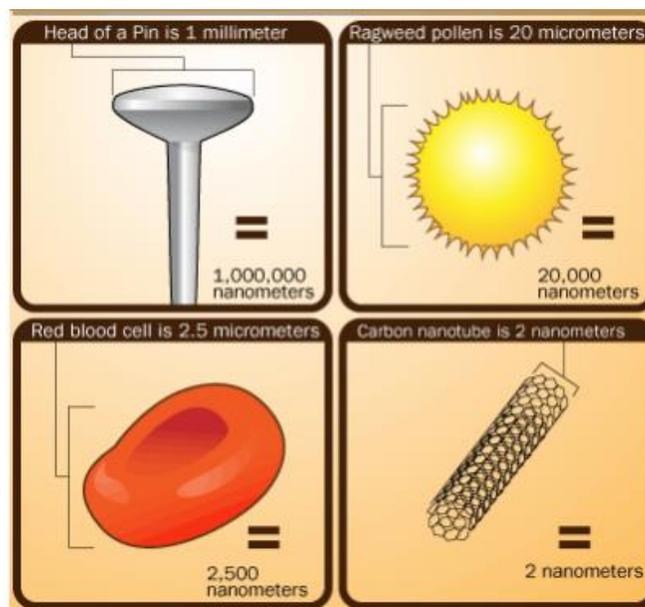


Figura 2. Medidas de la nanotecnología.

Como ya se dijo la nano ciencia y la nanotecnología implican la capacidad de ver y controlar los átomos y moléculas individuales. Todo en la Tierra está compuesto de átomos, los alimentos que comemos, la ropa que usamos, los edificios y casas en que vivimos, y nuestros propios cuerpos.

Pero algo tan pequeño como un átomo es imposible ver a simple vista. De hecho, es imposible ver con los microscopios usados típicamente en una clase de ciencias de la escuela secundaria. Los microscopios necesarios para ver las cosas a nano escala se inventaron hace relativamente poco tiempo, unos 30 años.

Una vez que los científicos tenían las herramientas adecuadas, tales como el microscopio de efecto túnel (STM) y el microscopio de fuerza atómica (AFM), nació la era de la nanotecnología.

A pesar de que la nano ciencia y la nanotecnología moderna son bastante nuevas, se utilizaron los materiales a nano escala durante siglos. Partículas de oro y plata de tamaños alternos crean colores en las vidrieras de las iglesias medievales hace cientos de años. Los artistas en ese entonces no sabían que el proceso que se utiliza para crear estas hermosas obras de arte en realidad es llevado a cambios en la composición de los materiales de los que estaban trabajando.



**Figura 3. Medievales vidrieras son un ejemplo de cómo se utiliza la nanotecnología en la era pre-moderna.**

Los científicos y los ingenieros de hoy están encontrando una amplia variedad de maneras de hacer deliberadamente materiales en la nano escala para aprovechar sus propiedades mejoradas, tales como una mayor resistencia, menor peso, mayor control del espectro de la luz, y una mayor reactividad química que sus contrapartes de mayor escala.

¿Por qué preocuparse por la nanotecnología?

Drexler (1992) indica que, dado que la tecnología está transformando la vida humana, y la nanotecnología es donde va la tecnología, la ciencia a nano escala de hoy, la tecnología incluye la investigación y el desarrollo en el filo de una amplia gama de campos. El término "nanotecnología" se ha aplicado allí donde los científicos y tecnólogos están luchando con los bloques de construcción fundamentales de la materia, los átomos y las moléculas.

La ciencia y tecnología a nano escala incluye las fronteras de la química, materiales, medicamentos y equipos informáticos, es la investigación que permite a la revolución de la tecnología de continuar.

Nanotecnología de mañana será mucho más.

Como las tecnologías a nano escala de antemano, van a permitir el desarrollo de la fabricación molecular, una nanotecnología más sistemática y eficaz en el uso de máquinas a escala nano métrica para construir a gran escala, productos de precisión atómica limpia, a bajo costo. Este tipo de nanotecnología (la visión que inspiró el campo como un todo) va a transformar nuestra tecnología física de abajo hacia arriba, que permite un control digital de la estructura de la materia.

¿Qué tan importante será esto?

Sus productos van a curar el cáncer y reemplazar los combustibles fósiles, sin embargo, esos avances serán, en retrospectiva, una pequeña parte de la totalidad.

Cualquier tecnología de esta traerá ambos aspectos, peligros y oportunidades. Se ha hablado mucho de una preocupación Levanté en 1986, bajo el nombre de "plaga gris" (un escenario hipotético que implica replicantes fugitivos). Aunque la construcción de máquinas totalmente auto replicantes serían difíciles, y la edificación que podría replicarse sin ayuda externa sería más difícil todavía, el trabajo actual en el campo muestra que será más fácil y más eficiente para desarrollar la fabricación molecular sin la construcción de todas las máquinas auto replicantes en absoluto.

Los sistemas de fabricación moleculares avanzados serán las fábricas de escritorio a escala que fabrican productos grandes y útiles. El peligro no es que las fábricas van a hacer algo incontrolado, pero las fuerzas hostiles los usarán para producir nuevas armas, con decisión de gran alcance. Sólo la investigación vigorosa puede producir una defensa estable. Por lo tanto, las nanotecnologías avanzadas son tan cruciales para la seguridad,

como lo son para la medicina, la productividad económica y el futuro del medio ambiente de la Tierra.

¿Por qué hacer algo acerca de la nanotecnología, si usted no está trabajando en el campo?

Porque importa si vamos por el camino correcto en el desarrollo y la aplicación de estas capacidades de gran alcance. Sorprendentemente, hoy en día en EE.UU., la dirección nacional de alto nivel en ciencia y tecnología a nano escala está en la negación sobre el futuro del campo. La investigación está en consecuencia mal dirigida, y la discusión de las preocupaciones legítimas ha sido distorsionada por la desinformación oficial y ataques por motivos políticos. Voces frescas, no vinculadas a la política del proceso de concesión federal, pueden ayudar a redirigir el campo y abrir un diálogo honesto acerca de su futuro.

## Referencias

Congreso de EUA. (2006). *Registro del Congreso del 7 enero 2003 hasta 17 enero 2003*. Imprenta del Gobierno.

Drexler, K. E. (1992). *Nanosistemas: maquinaria molecular, Fabricación y Computación*. Wiley.

Feynman, R. (1999). *Partículas elementales y las leyes de la física*. Cambridge University.

Karkare, M. (2008). *Nanotecnología: Fundamentos y Aplicaciones*. I. K. International.

Roco, M. C., Mirkin, C. A., & Hersam, M. C. (2011). *Direcciones de Investigación de la nanotecnología para las necesidades de la sociedad en 2020: Retrospectiva y Perspectiva*. Springer Netherlands.