

Nanotecnología

Javier Luque Ordóñez



Revista Digital de ACTA
2023

Publicación patrocinada por



ACTA representa en CEDRO los intereses de los autores científico-técnicos y académicos. Ser socio de ACTA es gratuito.

Solicite su adhesión en acta@acta.es

Nanotecnología

© 2023, **Javier Luque Ordóñez**

© 2023,  ACTA

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Se autorizan los enlaces a este artículo.

ACTA no se hace responsable de las opiniones personales reflejadas en este artículo.

INTRODUCCIÓN

Debido a fenómenos cuánticos, las propiedades de la materia a una escala atómica y molecular son diferentes a las propiedades que se manifiestan en la misma a escala macroscópica convencional. Por otro lado, el ser humano ha desarrollado técnicas tales que permiten examinar la materia en esta escala e incluso manipularla, para mejorar sus propiedades y obtener determinadas ventajas.

Surge así una nueva tecnología, con unas posibilidades casi ilimitadas, y que promete una enorme influencia en el devenir de la humanidad, tanto a nivel de progreso científico y mejora de la calidad de vida, como a nivel político, social y económico. Es la nanotecnología.

CONCEPTOS BÁSICOS

NANOTECNOLOGÍA Y NANOCIENCIA

La nanociencia (*nanoscience*) es una disciplina dedicada al estudio de los fenómenos físicos, químicos y biológicos que ocurren en la materia a escala nanométrica.

La nanotecnología (*nanotechnology*), por su parte, se puede definir como el diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a escala nanométrica.

La nanociencia proporciona las bases de conocimiento necesarias para la nanotecnología, que aplica este conocimiento para manipular de manera precisa la materia a escala nanométrica, con el objetivo de fabricar materiales, estructuras, dispositivos y sistemas con un propósito determinado.

El propósito final de la nanotecnología es la alteración de la materia, mediante la manipulación y reordenamiento de átomos y moléculas, para cambiar sus propiedades intrínsecas y obtener una versión "mejorada", cuyas nuevas propiedades personalizadas tengan una aplicación práctica.

Así, los científicos utilizan la nanotecnología para crear materiales, aparatos y sistemas novedosos y poco costosos con propiedades únicas. Por ejemplo, el grafeno es un carbono modificado más duro que el acero, más ligero que el aluminio y casi transparente, con infinidad de aplicaciones potenciales.

La escala nanométrica implica escala subatómica, atómica, molecular y macromolecular. En esta escala las propiedades físicas y químicas de la materia están regidas principalmente por la mecánica cuántica, y difieren de las de los sistemas macroscópicos, convirtiéndolas en únicas.

Actualmente existen muchos instrumentos y dispositivos de dimensiones y precisión nanométricas que facilitan los avances en nanociencia y la aplicación de nanotecnologías.

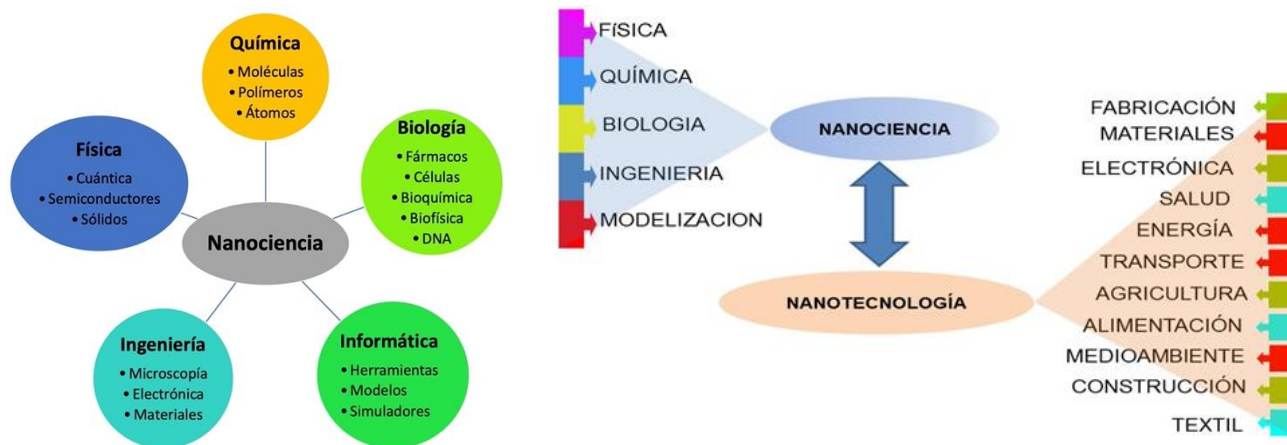


Figura 1: Nanotecnología y nanociencia. Fuente: Pinterest

La nanociencia y la nanotecnología se apoyan en múltiples disciplinas del conocimiento científico: física, química orgánica, biología molecular, ingeniería de materiales, medicina, ciencias ambientales, ciencias de superficie, semiconductores o miniaturización, entre muchas otras. La investigación en la nanoescala está unificada por la necesidad de reunir conocimientos sobre herramientas y técnicas y compartir conocimientos especializados.

La definición de nanotecnología incluye toda una categoría de tecnologías relacionadas con las propiedades de la materia bajo un cierto umbral de tamaño. Por ello es común el uso del plural, nanotecnologías, así como el término "tecnologías de nanoescala", para referirse al amplio rango de investigaciones y aplicaciones derivadas del cambio de propiedades de la materia a escala nanométrica.

La nanotecnología es una disciplina bien establecida que incluso se enseña de forma regular en muchas universidades. Al ser un área técnica definida por el tamaño de la materia, se puede afirmar que cualquier tecnología que se aplique a escala nanométrica es nanotecnología, ya sea robótica, informática, química orgánica, ciencia de materiales, o un largo etc.

NANOESCALA

El prefijo nano- (etimológicamente procedente del griego, significa "enano") se emplea en el Sistema Internacional de Unidades, y es equivalente a 10^{-9} . Un nanómetro, por tanto, es igual a 10^{-9} metros.

Por convención, la nanotecnología es medida en el rango de escala de entre 1 a 100 nm, de acuerdo con la definición usada por la Iniciativa Nanotecnológica Nacional (NNI, *National Nanotechnology Initiative*), creada en 2000 en Estados Unidos.

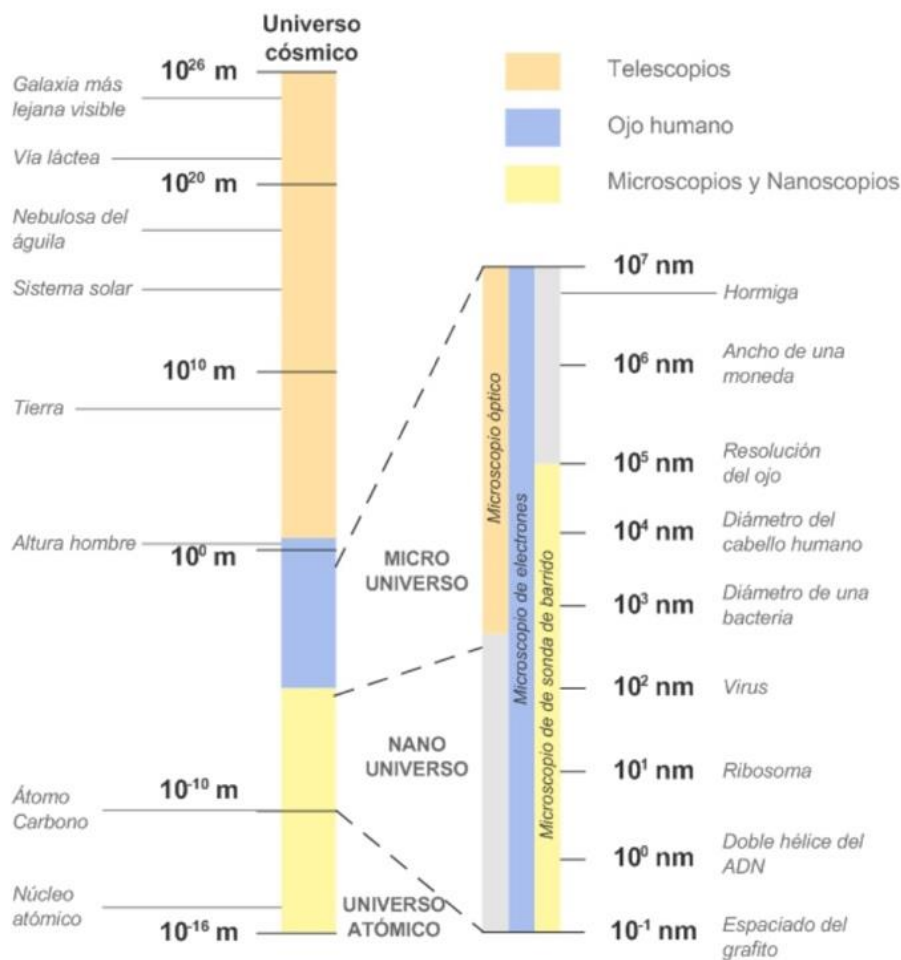


Figura 2: Comparativa de dimensiones nanométricas. Fuente: Pinterest

Así, la nanotecnología abarca desde 1 nm hasta 100 nm, esto es, desde 10^{-9} m (una millonésima parte de un milímetro) hasta 10^{-7} m (una diezmilésima parte de un milímetro). En estos tamaños, algunas leyes convencionales de la física dejan de aplicarse, por las propiedades únicas (de origen cuántico) de la materia en esa escala.

El límite inferior está dado por el tamaño de los átomos (el hidrógeno tiene los átomos más pequeños, que tienen un radio aproximado de un veinteavo de nm conocido como radio de Bohr), dado que la nanotecnología debe fabricar sus dispositivos a partir de átomos y moléculas.

El límite superior es más o menos arbitrario, pero se encuentra alrededor del tamaño en que aquellos fenómenos de origen cuántico que no pueden ser observados en estructuras más grandes comienzan a ser aparentes y pueden ser aprovechadas en la materia.

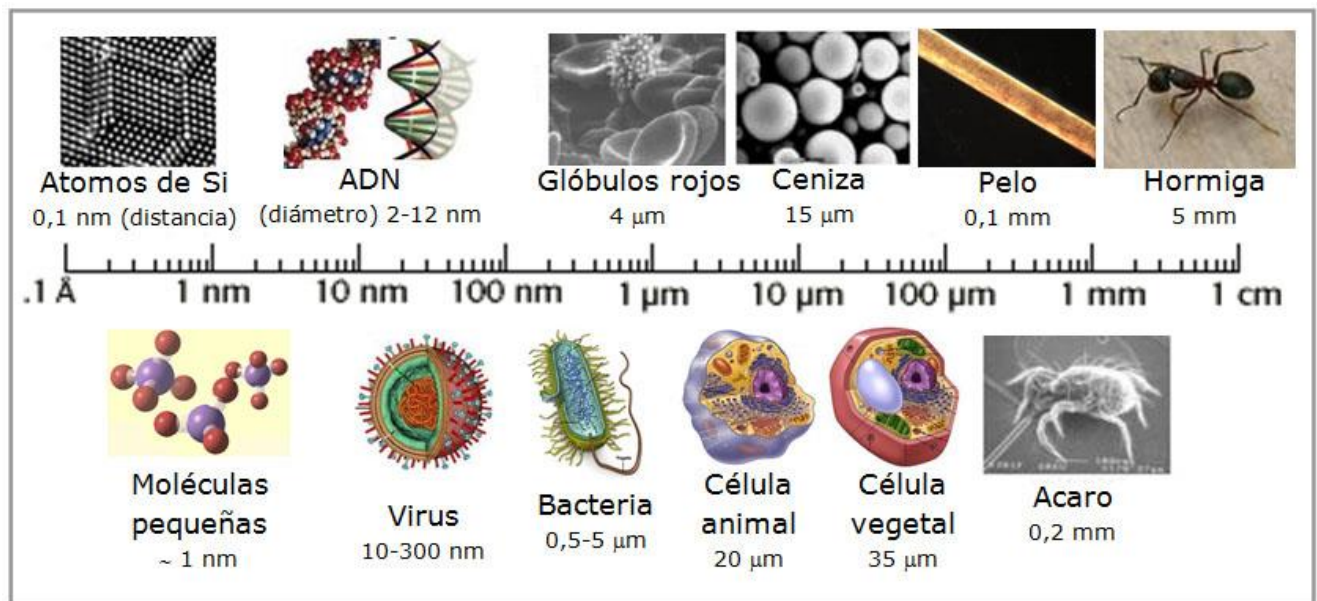


Figura 3: Comparativa de tamaño de materia. Fuente: iAqua.es

Los dispositivos miniaturizados que son versiones diminutas de dispositivos macroscópicos equivalentes, pero que no gozan de las propiedades cuánticas derivadas de la nanoescala, no se estudian dentro de la nanotecnología, sino que caen bajo la descripción de la microtecnología.

Por comparación, los típicos largos de enlaces carbono-carbono, o el espacio entre estos átomos en una molécula, están alrededor de los 0,12–0,15 nm, y la doble hélice de un ADN tiene un diámetro de alrededor de 2,5 nm. Por otra parte, la forma de vida celular más pequeña, la bacteria del género *Mycoplasma*, tienen alrededor de 200 nm de largo.

CONCEPTOS RELACIONADOS

Nanomateria

La nanociencia y la nanotecnología tratan la materia a escala nanométrica, esto es, la nanomateria. Aunque no existe una única definición consensuada, se denomina nanomaterial a todo material que cuente con al menos una de sus dimensiones externas, o bien estructuras internas, en la nanoescala, y que a su vez tenga características físico-químicas diferentes a las del mismo material en escala convencional.

Aunque las dimensiones no constituyen el único parámetro que define a un nanomaterial (también su comportamiento, su forma o sus propiedades físicas, químicas y biológicas), sí que es el más importante para poder clasificarlos. De esta clasificación de nanomateriales en función de la estructura en la que el material se encuentra nanodimensionado salen importantes conceptos en la nanotecnología:

- 0D: nanomateriales con las tres dimensiones en la escala nano (<100 nm). Son denominados comúnmente como nanopartículas.
- 1D: nanomateriales con una dimensión macroescalar y las otras dos en nanoescala. Son denominados nanohilos, o nanofibras. Dentro de éstas, se denomina nanocable a las nanofibras conductoras o semiconductoras, nanotubos a las nanofibras huecas, y nanovarillas a las nanofibras sólidas y rectas.
- 2D: nanomateriales con dos dimensiones macroescalares y una tercera en nanoescala. Son denominados nanodiscos, nanoplacas, o nanocapas.
- 3D: nanomateriales con las tres dimensiones macroescalares pero estructura interna en nanoescala. A veces también denominados nanocompuestos, entre estos nanomateriales se encuentran los materiales nanoestructurados a granel, las dispersiones de nanopartículas, o las multivanocapas.

Muchos de estos conceptos se encuentran definidos en las normas ISO/TS 27687:2008, e ISO/TS 80004-1, 2010, dedicados a la terminología usada en nanotecnología y nanomateriales.

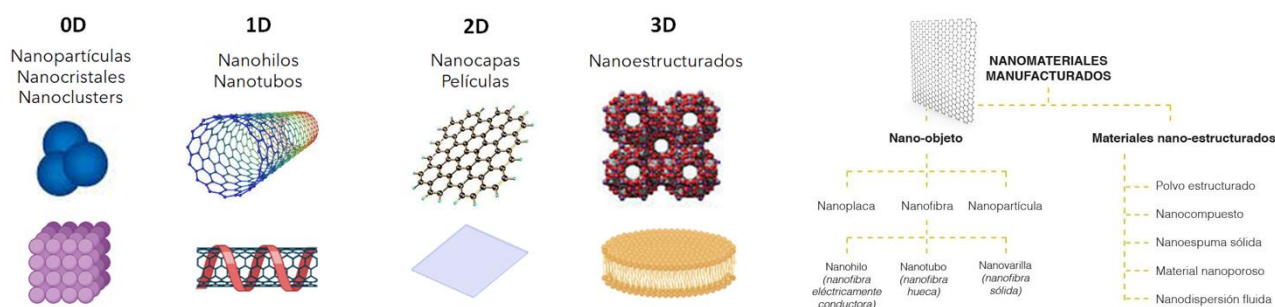


Figura 4: Tipos de nanomateriales según dimensión. Fuente: QuimicaViva

Nanodisciplinas científicas

Las nanotecnologías (en plural) forman un amplísimo conjunto de disciplinas tecnológicas que trabajan conjuntamente para la manipulación y control de la materia a escala nanométrica. Igualmente ocurre con la nanociencia respecto de múltiples disciplinas científicas actuales. De esta manera, cualquier ciencia o tecnología, o cualquier producto derivado de éstas, aplicados al ámbito de la nanoescala, tiene su equivalente específico en este ámbito.

Entre otros muchos términos de la macroescala reutilizados en el mundo nanométrico, pueden citarse: nanoagricultura; nanoalimento; nanoarmamento; nanobiología; nanocanal; nanocápsula; nanocatalizador; nanochip; nanocirugía; nanodispositivo; nanoelectrónica; nanoenergía; nanoengranaje; nanoenvase; nanoestructura; nanofábrica; nanofarmacología; nanofertilizante; nanofiltro; nanofísica; nanofotónica; nanoimpresión; nanoinformática; nanoingrediente; nanoiónica; nanomáquina; nanomedicina; nanomotor; nanoobjeto; nanoóptica; nanoquímica; nanorrobótica; nanosensor; nanoscopio; nanosistema; nanosonda; nanotoxicología; nanovacuna.

HISTORIA DE LA NANOTECNOLOGÍA

PRECURSORES DE LA NANOTECNOLOGÍA

La nanotecnología ha sido empleada de manera inconsciente por el ser humano desde antes de que su definición fuera concretada.

Un ejemplo de esto lo constituye la Copa de Licurgo, elaborada en el siglo IV en el Imperio Romano y conservada actualmente en el Museo Británico de Londres. Esta copa está elaborada con vidrio dicroico, que cambia de color según la forma en que le atraviese la luz, según la ubicación del observador y el líquido en su interior. Por ejemplo, presenta un color verde con luz reflejada, y uno rubí con luz transmitida. Esto se debe a la presencia de nanopartículas (de unos 50 nm) de una aleación de oro y plata en el vidrio.



Figura 5: Nanotecnología en la antigüedad. Fuente: National Geographic

Investigaciones muy posteriores han determinado que la diferente pigmentación en la Copa de Licurgo presenta un fenómeno llamado 'resonancia de plasmón de superficie': cuando el tamaño de una partícula metálica es mucho menor que la longitud de onda de la luz incidente, los electrones oscilan con el campo eléctrico de la luz.

Para determinadas longitudes de onda, se produce un acoplamiento entre la oscilación del campo eléctrico incidente y la de los electrones, lo que provoca un aumento considerable de la absorción de la luz a esa longitud de onda, y la reflexión de las longitudes de onda no absorbidas que se asocian a un determinado color, que es lo que vemos. La luz que no se ha reflejado ni absorbido en el objeto, se transmite a su través.

En el caso de la Copa de Licurgo, el color rojo observado es el resultado de la absorción de la luz verde por las nanopartículas de oro, el color verde a la reflexión de la luz verde por las nanopartículas de plata, y la tonalidad morada la otorgan las nanopartículas más grandes de oro.

Como la concentración de nanopartículas en el vidrio de la copa es extremadamente baja (40 partes por millón en el caso del oro y 300 partes por millón en el de la plata), la principal hipótesis sobre su fabricación es que se pudo deber a una "contaminación accidental" con polvo de oro y plata finamente molido que se encontrara en el taller de los artesanos. Sin embargo, sigue generando dudas el hecho de que, si la copa se hubiese fabricado con nanopartículas de tamaño ligeramente diferente o con otros materiales, no se hubiera conseguido este espectacular efecto.

Existen fragmentos de otras piezas, encontradas en diferentes partes del mundo y conservadas en diversos museos (el *Metropolitan Museum of Art* de Nueva York o el Museo Arqueológico Nacional de Madrid, entre otros) que presentan también estos efectos de dicroísmo debido a nanopartículas metálicas.

Del mismo modo, un efecto similar es el empleado en la fabricación de vidrieras de distintos colores y tonalidades en catedrales e iglesias medievales. El color de estos cristales sólo se aprecia desde el interior, con la luz transmitida. Ejemplos claros de estos efectos son las vidrieras de la Catedral de León o de Notre Dame en París.

También se emplea nanotecnología en el esmaltado de cerámica, siendo ejemplos de ello la cerámica esmaltada con estaño de la Italia de los siglos XV y XVI o las porcelanas lustrosas esmaltadas con cobre de la Inglaterra del siglo XIX. Así, por ejemplo, en la coloración por cementación de las piezas cerámicas, conocida como lustre, existen cristales de unos 10 nm de óxido de plata y óxido de cobre, que le confieren las características ópticas especiales del lustre. De forma similar, en la América precolombina, los mayas desarrollaron un tipo de pintura azul que involucra nanomateriales naturales.

Los objetos pigmentados con nanopartículas no pierden su color con el paso del tiempo, ya que estas nanopartículas mantienen sus propiedades físicas y químicas durante siglos en las condiciones ambientales en las que se encuentran. Sin embargo, estatuas de la misma época coloreadas con compuestos orgánicos hoy en día son blancas porque estos compuestos sí se han degradado.

Otros ejemplos del empleo de nanotecnologías en la antigüedad son la tinta china, los alfanjes, o las espadas de Damasco. Recientemente se ha determinado que la fortaleza y el afilado borde de estas armas en tiempos de los cruzados, se debe a que los herreros, en un intento de optimizar los procedimientos de forja, añadían involuntariamente capas de nanotubos de carbono en las hojas de acero de las espadas.

PIONEROS DE LA NANOTECNOLOGÍA MODERNA

Se considera al físico estadounidense Richard Feynman como el padre conceptual de la nanotecnología. El 29 de diciembre de 1959 impartió su célebre conferencia titulada con la icónica frase *'There is plenty of room at the bottom'* (juego de palabras que significa 'Al fondo hay espacio de sobra' y también 'Hay mucho hueco ahí abajo').

En esta conferencia, impartida en el Instituto Tecnológico de California (Caltech) en Pasadena, en el marco del Congreso de la Sociedad Americana de Física, Feynman teoriza por primera vez acerca del examen, manipulación y control de la materia a nivel atómico y molecular empleando instrumentos de gran precisión, aventurando que se podrían diseñar y construir sistemas átomo por átomo cuyas propiedades serían distintas a las presentes en la macroescala.

Feynman describió un proceso para desarrollar la habilidad de manipular átomos y moléculas individuales, empleando herramientas de precisión para operar herramientas más pequeñas, operando éstas a su vez otras menores y así sucesivamente hasta llegar a la escala atómica y molecular. Teorizó que, para llegar a la manipulación directa de átomos y a la fabricación de productos mediante el reordenamiento de átomos y moléculas, existirían cuestiones relacionadas con el escalado de fuerzas físicas: la gravedad se haría menos significativa, y las fuerzas de tensión superficial (fuerzas de Van der Waals) adquirirían gran importancia.

Feynman aventuró que en lo más pequeño había una nueva ciencia por explorar que podía dar grandes resultados, planteó la idea de incluir los 24 volúmenes de la Enciclopedia Británica en la punta de un alfiler y puso como ejemplo los beneficios de la manipulación de átomos y células de vida (ADN) en el cuerpo humano, explorando asimismo las posibilidades de la miniaturización en los ámbitos científico e industrial.

El japonés Norio Taniguchi, profesor de la Universidad de Tokyo, acuñó el término "nano-tecnología" en 1974 cuando trabajaba con semiconductores, en el artículo *"On the basic concepts of nanotechnology"*, definiéndola como "el procesamiento, separación y manipulación de materiales átomo por átomo". En este artículo explicaba las tecnologías de fabricación de semiconductores por depósito de capa delgada y devastado de rayo iónico, con un control dimensional del orden de nanómetros.

La conferencia de Feynman es considerada con frecuencia como la fuente de inspiración para el nacimiento, desarrollo y popularización de la nanociencia y la nanotecnología. Kim Eric Drexler, considerado el mayor divulgador de la nanotecnología y su principal impulsor, descubrió su contenido en 1980, y se basó en él para su artículo *"Molecular Engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation"*, publicado en la revista *"Proceedings of the National Academy of Sciences"* en 1981.

Drexler aplicó el concepto de nanotecnología (de forma independiente a Taniguchi) en 1986, en su libro *"Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology"* ("Motores de la Creación: la próxima Era de la Nanotecnología"). En él proponía la idea de "ensambladores" en nanoescala, que serían capaces de construir una copia de sí mismos (autorreplicarse), así como de construir otros objetos de complejidad diversa. La visión particular de nanotecnología de Drexler se conoce como "nanotecnología molecular" o "manufactura molecular".



Figura 6: Los padres de la nanotecnología. Fuente: nanohub.org

Los ensambladores de Drexler, también denominados nanobots o nanoagentes, son nanomáquinas que pueden desempeñar tareas específicas. Las ideas de Drexler son fundamentales en disciplinas como la nanomedicina o la nanorrobótica. Su funcionamiento sería similar al de las actuales impresoras 3D: sólo sería necesario cargarlo con una determinada cantidad de materia y la definición a escala nanométrica que conseguiría el ensamblador podría convertirla en cualquier cosa que se desee, incluyendo materia orgánica.

Drexler también acuñó el término "plaga gris" (*gray goo*) para describir lo que podría ocurrir si una hipotética máquina autorreplicante, capaz de operar independientemente, fuese construida y liberada en el ambiente. La plaga gris sería el resultado de perder el control de los ensambladores, conduciendo a una ecofagia a nivel planetario. Es uno de los principales riesgos de la nanotecnología: un uso no controlado de la misma puede acabar con el ser humano.

La nanotecnología obtuvo un impulso definitivo en la década de 1980, gracias por un lado a la divulgación de Drexler, y por otro al avance experimental debido al descubrimiento de nanomateriales y de técnicas para la manipulación atómica y molecular.

AVANCES EXPERIMENTALES

Más allá del (involuntario) uso de la nanotecnología en la antigüedad, el primer estudio sobre nanopartículas del que se tiene conocimiento es el de Michael Faraday en 1857, en el que, mediante un artículo en la revista "*Philosophical Transactions of the Royal Society*" trataba de estudiar los fenómenos ópticos en el color de las ventanas de las iglesias.

Las primeras mediciones del tamaño de las nanopartículas datan de principios del siglo XX. En la década de 1920, Adolf Zsigmondy fue el primero en visualizar partículas mucho menores de la longitud de onda de la luz, y en emplear el término "nanómetro" para referirse a su tamaño. En esta década, Irving Langmuir y Katharine B. Blodgett introdujeron el concepto de monocapa para referirse a materiales con espesor de una molécula.

En 1936, Erwin Muller (Siemens) inventó el Microscopio de Emisión de Campo, que hizo posible la consecución de imágenes cercanas a la resolución atómica de los materiales. En la década de 1940 John Von Neumann estudia la posibilidad de crear sistemas que se autorreproducen como una forma de reducir costes.

Los primeros estudios sobre las fuerzas superficiales datan de la década de 1950 (Derjaguin y Abriksova). En 1950 se produce la primera síntesis de cristales semiconductores (La Mer, Dinigar). En 1956 Arthur von Hippel (MIT) acuña el término "ingeniería molecular". En 1958 Jack Kilby (Texas Instruments) construye el primer circuito integrado.

En la década de 1960 se desarrollaron fluidos magnéticos, denominados ferrofluidos, que consisten en nanopartículas dispersadas en fluidos.

En 1979 se produjo el primer hito considerado puramente nanotecnológico, al conseguirse la primera evidencia de los nanotubos de carbono. En la década de los años 80, con la aparición de los métodos apropiados para fabricar nanoestructuras, tuvo lugar un crecimiento notable de la actividad investigadora.

En 1981 Gerd Binnig y Heinrich Rohrer, del Laboratorio de Investigación de IBM en Zurich, inventaron el Microscopio de Barrido basado en Efecto Túnel (*Scanning Tunneling Microscoping, STM*). Este invento permitió observar, mediante técnicas de mecánica cuántica, la estructura de la materia en dimensiones nanométricas, y por primera vez, manipular los átomos de forma voluntaria. Este mismo año se publicaron los primeros trabajos que ligaban procesos bioquímicos con nanotecnológicos, dando origen a la nanobiotecnología.

En 1985 Harry Kroto, Richard Smalley, y Robert Curl descubrieron los fullerenos (tercera forma alotrópica del carbono), una familia de nanomateriales de los más empleados en la actualidad. El fullereno, o buckminsterfullereno, es una molécula formada por 60 átomos de carbono, de aproximadamente 1 nm de diámetro y que asemeja un balón de fútbol (de ahí su otro nombre: "futboleno").

En 1986 Gerd Binnig, Calvin Quate y Christoph Gerber inventaron el Microscopio de Fuerza Atómica (AFM, *Atomic Force Microscope*), existiendo ya una primera versión comercial en 1989. Al igual que el STM, funciona como un barrido que dependiendo del tamaño de lo que se estuviese analizando con la punta crearía un mapa del relieve. Esto permitió diferenciar las diferentes estructuras dentro de un compuesto a nivel atómico. En 1987 se celebra el primer symposium sobre nanotecnología en el MIT.

En los años 90 Sumio Iijima (NEC) descubrió las propiedades de superconductividad y ferromagnetismo de los nanotubos de carbono, que posibilitó su diseño incremental controlado. A finales de esta década comenzó la producción industrial de nanomateriales. En 1990 aparece la primera revista sobre nanotecnología. En 1993 se entregan los primeros premios sobre avances en nanotecnología.

En 1996 varias agencias gubernamentales estadounidenses concluyeron que era necesaria una mayor inversión económica para que la investigación en nanotecnología fuese fructífera. La primera empresa dedicada a la nanotecnología (Zyvex) se funda en 1997. En 2000 se creó en Estados Unidos la NNI (*National Nanotechnology Initiative*, Iniciativa Nacional Tecnológica), organismo encargado del fomento, investigación y divulgación de la nanociencia y la nanotecnología.

A partir del año 2000 los nanomateriales comenzaron a emplearse industrialmente. En respuesta los gobiernos del mundo comenzaron a invertir enormes sumas en la investigación y desarrollo de la nanotecnología. En el siglo XXI ha habido innumerables avances en la nanotecnología, gracias a los trabajos interdisciplinarios entre campos como química, física, biología, ingenierías, e informática, entre muchas otras. Como ejemplos, en 2009 se utilizan por primera vez nanocápsulas para medicación, y en 2016 se comienzan a estudiar los efectos tóxicos de las nanopartículas en el ser humano y en el medio ambiente (nanotoxicología).

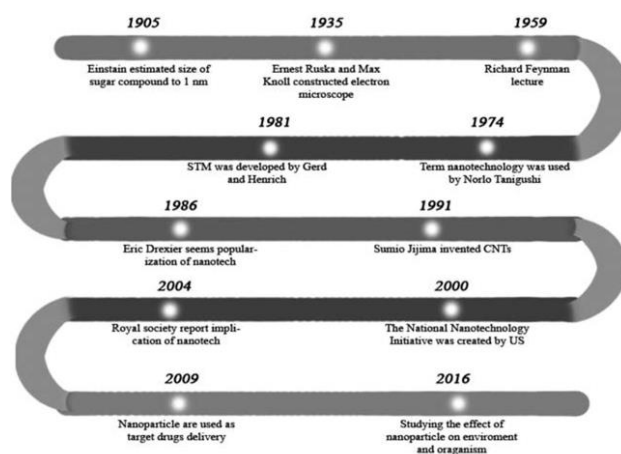


Figura 7: Breve historia de la nanotecnología. Fuente: Ebrary.net

NANOMATERIALES

Aunque no existe un consenso para su definición, el término nanomaterial se refiere a una sustancia o conjunto de sustancias en la escala de los nanómetros, donde los constituyentes son átomos y moléculas. Los nanomateriales se forman por el ensamblaje de nanopartículas. Sus propiedades físicas y químicas dependen no sólo de su composición, también de su tamaño y forma.

Cualquier nanomaterial debe contener al menos una de sus dimensiones en la región nano. Existen más de 50 materiales diferentes que se emplean para producción de nanomateriales, entre ellos destacan el carbono, el oro, y los biopolímeros y sus compuestos.

La OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) selecciona como más representativos a los siguientes: fullerenos (C60); grafeno; nanotubos de carbono; nanopartículas de plata; nanopartículas de oro; nanopartículas de hierro; carbón negro; dióxido de titanio; óxido de aluminio; óxido de cerio; óxido de cinc; dióxido de silicio; poliestireno; dendrímeros; nanoarcillas. En la actualidad en el mercado hay más de 5.000 productos catalogados como nanomateriales.

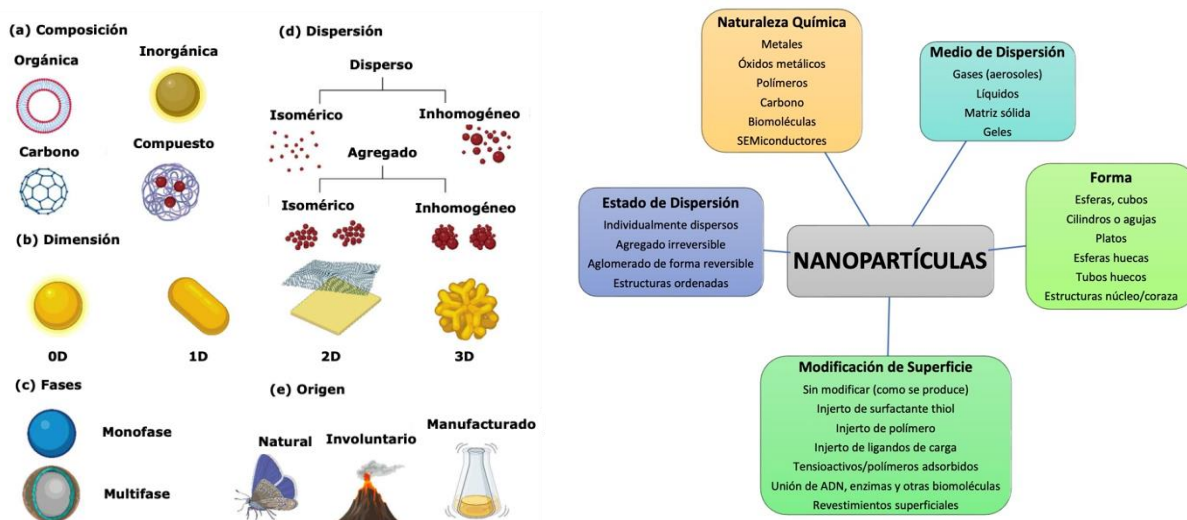


Figura 8: Clasificación de nanopartículas. Modificado de Pinterest

Los nanomateriales se utilizan para uno u otro propósito en función de las propiedades que posean, de forma que existen distintos nanomateriales empleados para diferentes aplicaciones.

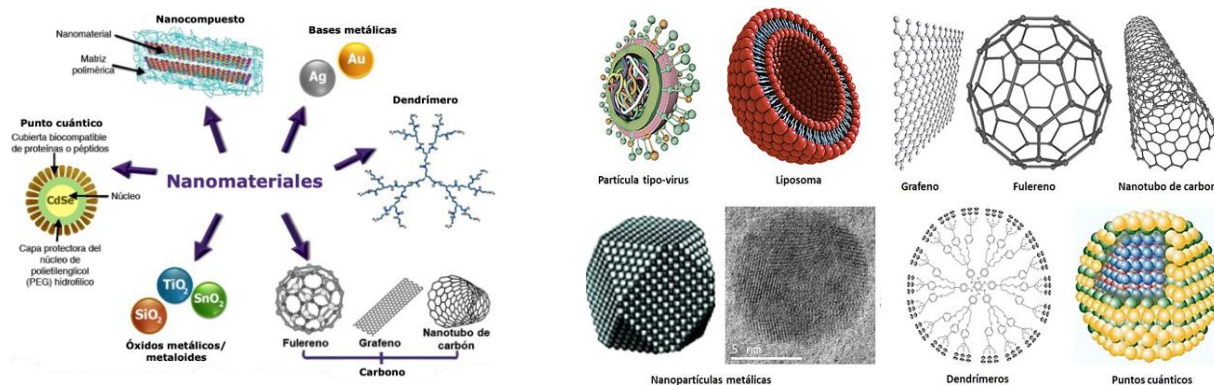


Figura 9: Ejemplos de nanomateriales. Fuente: scielo.org.mx

Dentro del ámbito industrial, la nanotecnología presenta tres grandes áreas de aplicación: nanomateriales, nanointermediarios, (nanoproductos intermedios) y nanoproductos (finales).

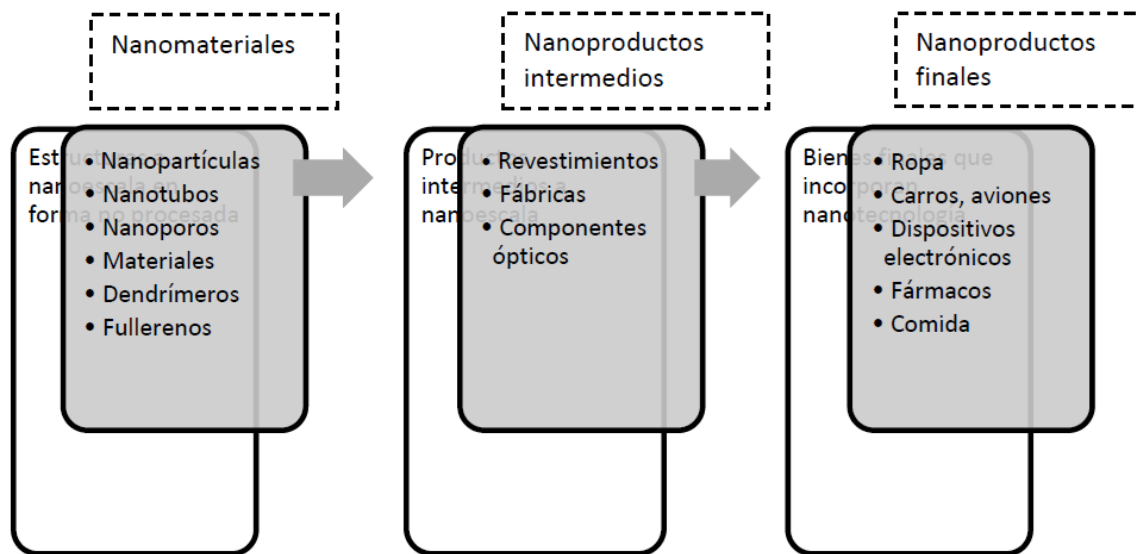


Figura 10: Nanomateriales, nanointermediarios y nanoproductos. Fuente: Pinterest

NANOMATERIALES 0D

Entre los nanomateriales 0D (0 dimensiones macroescalares y 3 dimensiones por debajo de los 100 nm) o nanopartículas, destacan los llamados puntos cuánticos (*quantum dots*). También dentro de este grupo se encuentran los dendrímeros, fullerenos, los nanomateriales inorgánicos como nanopartículas de oro y plata, las nanoarcillas o los nanodiamantes.

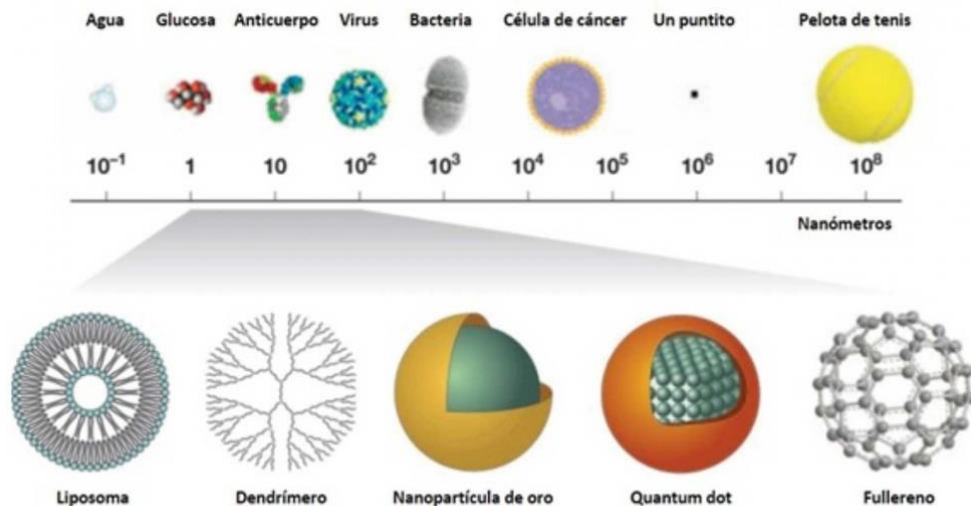


Figura 11: Ejemplos de nanomateriales 0D. Fuente: idus.us.es

Las nanopartículas pueden clasificarse en tres grandes categorías:

- De origen natural:
 - Origen biológico: virus, bacterias.
 - Origen mineral: polvo de arena del desierto.
 - Origen medioambiental: humos derivados de fuegos forestales y actividad volcánica.
- Generadas involuntariamente por la actividad humana:
 - Producidas en procesos industriales: pirólisis de carbono, humo de sílice, partículas ultrafinas de óxido de titanio.
 - Obtención de pigmentos en procesos de combustión: diésel, carbón.
 - Actividades domésticas: humo de barbacoas o de aceite.
- Generadas voluntariamente por la actividad humana:
 - Creadas mediante la nanotecnología.

Así, las nanopartículas libres pueden aparecer de forma natural, ser liberadas involuntariamente en procesos industriales o domésticos como la cocina, la fabricación y el transporte, o diseñarse específicamente para productos de consumo y tecnologías punta.

En estado líquido, las nanopartículas manufacturadas se forman generalmente a partir de reacciones químicas controladas, mientras que las que se forman de manera natural aparecen por la erosión y degradación química de plantas, arcillas, etc.

En estado gaseoso, tanto las nanopartículas de origen natural como las manufacturadas se forman mediante reacciones químicas que transforman los gases en gotas minúsculas que posteriormente se condensan y se expanden. En muy pocas ocasiones se forman mediante la descomposición de partículas de mayor tamaño.

Ya sea en las zonas rurales o en las urbanas, un litro de aire puede contener millones de nanopartículas. Ya estamos rodeados de miles de millones de nanopartículas, como la sal marina, las sustancias químicas generadas por el plancton oceánico o el humo de los coches diésel.

En las zonas urbanas, la mayor parte de las nanopartículas provienen de motores diésel o automóviles con catalizadores defectuosos o funcionando en frío. En ciertos lugares de trabajo, la exposición a las nanopartículas presentes en el aire puede plantear un riesgo potencial para la salud.

Puntos cuánticos

Los puntos cuánticos, conocidos también como átomos artificiales y descubiertos en 1980 por Alexei Ekimov y Louis Brus, son partículas nanoescalares (de algunos cientos a unos cuantos miles de átomos), que cuentan con extraordinarias propiedades ópticas, que pueden acomodarse cambiando el tamaño o la composición de la partícula. Los puntos cuánticos absorben la luz y la remiten con diferente color. Pueden calibrarse a cualquier longitud de onda seleccionada con tan sólo alterar su tamaño, lo que los hace útiles en el etiquetado o identificación biológica.

Los puntos cuánticos son usados, por ejemplo, en optoelectrónica (pruebas fluorescentes de microscopía), en biomedicina (diagnóstico y en el desarrollo de fármacos), en energía (paneles solares), en informática (pueden ser utilizados como qubits -*quantum bits*- en computación cuántica) y en electrónica (píxeles de pantallas de los televisores).

Por su parte, los puntos cuánticos de carbono son nanoestructuras semiconductoras de carbono, diseñadas para sustituir a los puntos cuánticos convencionales ya que presentan las mismas propiedades de fluorescencia para ser aplicados como biosensores, pero son biocompatibles y su toxicidad es mucho menor.

Dendrímeros

Los dendrímeros son moléculas tridimensionales nanoescalares, y son así llamados porque su estructura se asemeja a la de árboles con ramas (dendrones). Los dendrímeros son capaces de alojar, sea en las cavidades internas o en la superficie, pequeñas moléculas que después pueden liberarse a voluntad, lo que los hace prometedores agentes de suministro de medicamentos, y agentes de suministro de perfumes y herbicidas con liberación programada según un esquema temporal.

Las principales aplicaciones y usos potenciales de los dendrímeros son: revestimiento, agente activador de superficies, catalizadores, modificadores de viscosidad, termoplástico, agente descontaminante, diagnósticos in vitro, transporte de fármacos y terapia génica.

Fullerenos

Los fullerenos son estructuras formadas por átomos de carbono dispuestos en forma de pentágonos y hexágonos. Son la tercera forma alotrópica del carbono (junto con el diamante y el grafito), que conceptualmente son láminas de grafeno enrolladas en tubos o esferas.

Son usados como catalizadores, lubricantes y semiconductores. También se usan combinados con nanotubos de carbono para administración dirigida de fármacos: gracias a su estructura pueden fijar antibióticos de manera específica capaces de atacar bacterias resistentes.

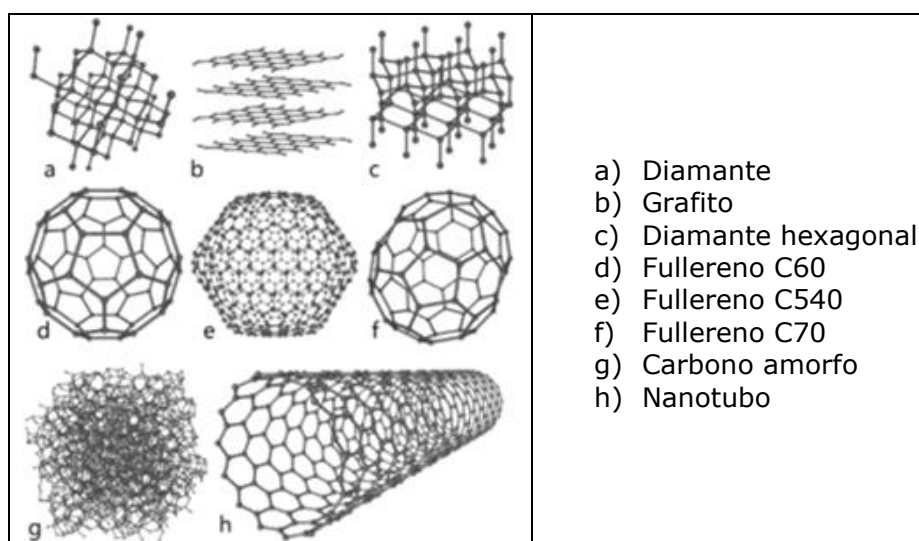


Figura 12: Formas alotrópicas del carbono. Fuente: Wikipedia

La primera molécula de fullereno, el buckminsterfullereno (C₆₀) es así denominado como homenaje a Buckminster Fuller, a cuyas cúpulas geodésicas se parece. Descubierta en 1985, posteriormente se ha comprobado que los fullerenos están presentes en la naturaleza y, más recientemente, se han detectado fullerenos incluso en el espacio exterior. Las aplicaciones potenciales de los fullerenos alcanzan la química de síntesis (catalizadores), la fabricación de células solares, la fotodetección de rayos X, las pilas de combustible, las telecomunicaciones, la fotónica o la biomedicina.

Otros nanomateriales 0D

Otros nanomateriales cerodimensionales son las nanoshells, esféricas y con un núcleo dieléctrico cubierto por una cáscara metálica delgada (normalmente de oro), estudiadas como terapia contra el cáncer; y el fluoreno, un hidrocarburo aromático policíclico de forma esférica, empleado para hacer tintes, plásticos, pesticidas y células solares.

Destacan también los nanoporos, agujeros de dimensiones nanométricas en una membrana. Pueden ser biológicos o sintéticos, y se emplean en múltiples aplicaciones: detectores de moléculas individuales; detectores de ADN; biosensores de gas; dispositivos fotovoltaicos; filtros; biocápsulas; celdas de combustible; retinas sintéticas; implantes de hueso; generación acústica; catalización (aumento de superficie reactiva en materiales).

NANOMATERIALES 1D

Entre los nanomateriales 1D (1 dimensiones macroescalar y 2 en la nanoescala) se incluyen los nanohilos o nanofibras. Aquellas nanofibras que son conductoras se denominan nanocables. A las nanofibras huecas se les denomina nanotubos, y a las sólidas, nanovarillas.

Los nanomateriales 1D se aplican como aditivos en matrices poliméricas, para mejorar alguna de sus propiedades. Se usan por ejemplo en adhesivos y pinturas, e impiden la corrosión de los materiales a los que recubren. También se emplean para la producción de ánodos y cátodos por sus propiedades conductoras, así como en la formulación de tintas conductoras que pueden emplearse en la construcción de circuitos electrónicos flexibles.

Los hilos cristalinos más pequeños posibles, con una sección transversal tan pequeña como la de un átomo, pueden fabricarse mediante confinamiento cilíndrico, que proporciona estabilización mecánica y evita que las cadenas atómicas lineales se desintegren. Los nanotubos de carbono pueden utilizarse como plantilla para la síntesis.

Nanotubos de carbono

Los nanotubos de carbono, descubiertos en 1991 por Sumio Iijima, presentan dos dimensiones en nanoescala. Se definen como un tubo cuya pared es una malla de agujeros hexagonales, y consisten en una o más capas enrolladas sobre sí mismas y de manera concéntrica. Cada capa está formada por grafito (hexágonos de carbono). Los nanotubos de carbono son 100 veces más fuertes que el acero, e inmutables a temperaturas de hasta 3.000 °C. Existen también nanotubos de otros materiales, como silicio o nitruro de boro.

Entre las aplicaciones de los nanotubos de carbono se encuentran la electroquímica (supercapacitores, almacenamiento de hidrógeno, celdas solares), la electrónica (transistores y memoria), medicina (terapia génica, transportadores), industriales (bicicletas, raquetas).

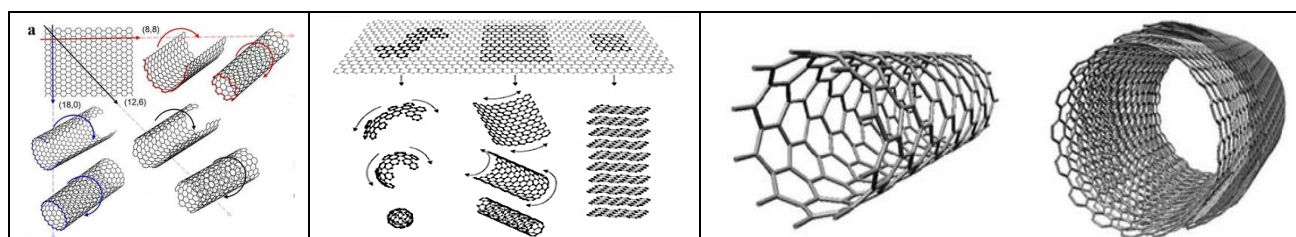


Figura 13: Nanotubos de carbono. Fuente: química.es

Nanocelulosa

La nanocelulosa se obtiene a través de cultivos naturales o de la compresión de fibras vegetales, y tiene su origen en la madera. Es resistente, ligera, fuerte y rígida, y posee muchas propiedades ópticas (es transparente) y electrónicas. Es estable a cambios de temperatura, se dilata poco con el calor, y es intrínsecamente renovable y respetuosa con el medio ambiente.

Entre las potenciales aplicaciones de la nanocelulosa se encuentra la producción de armaduras ligeras y resistentes; coches más eficientes y resistentes; productos sanitarios absorbentes como gasas, vendas o tampones; limpieza de océanos como hidrogeles y aerogeles; mejora de otros materiales como plásticos o papel; biocombustible.

Nanofibras poliméricas

Las nanofibras poliméricas presentan características de una alta reactividad superficial, conductividad térmica y eléctrica, efecto piezoeléctrico, flexibilidad, tenacidad, resistencia a la tracción, efecto antimicrobiano, transpirable, antillama e hidrofobia.

Se emplean en numerosas aplicaciones, destacando la ingeniería textil y la biomedicina. También se emplean en limpieza, catálisis, filtrado, aislamiento, pilas, transistores, óptica, tecnologías de la información y tecnología aeroespacial.

NANOMATERIALES 2D

Los nanomateriales 2D (2 dimensiones macroescalares y 1 en la nanoescala) son denominados nanodiscos, nanoplacas o nanocapas. Son materiales cristalinos formados por una capa bidimensional de 1 átomo de espesor.

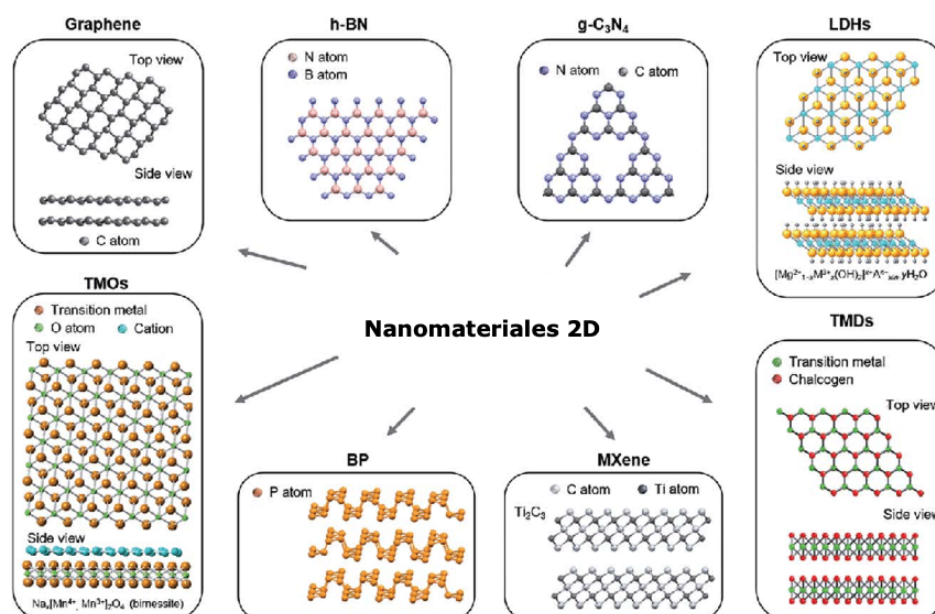


Figura 14: Ejemplos de nanomateriales 2D. Fuente: ResearchGate

Grafeno

Dentro de este grupo, el grafeno, descubierto en 2004, es el material más representativo. Considerado el nanomaterial de moda por excelencia, el grafeno es un nanomaterial bidimensional, consistente en una sola capa de átomos de carbono. A pesar de ser tan fino y ligero, es el material más fuerte que se conoce en la naturaleza, con una resistencia 200 veces superior al acero estructural con el mismo espesor. Es ultraligero, extraordinariamente resistente, flexible, impermeable, económico, excelente conductor del calor y de la electricidad (mejor que cualquier metal).

Entre sus aplicaciones, destaca la electrónica (pantallas táctiles y flexibles, audífonos, altavoces, ordenadores, coches, teléfonos móviles, cámaras fotográficas, cables de alta velocidad, y superbaterías). También puede emplearse para desalinización de agua, fabricación de aviones, satélites espaciales, automóviles y edificios, así como en la mejora y limpieza del medio ambiente.

El grafeno es un derivado del grafeno, descubierto en 2009, que une un átomo de hidrógeno a cada átomo de carbono. Sus propiedades son similares a las del grafeno, siendo aislante en lugar de conductor. Si en lugar de hidrógeno se emplea flúor, se obtiene otra variante, el fluorografeno.

Películas delgadas

Las películas delgadas (*thin films*) son estructuras sólidas, de muy poco grosor, Pueden hacerse con cualquier tipo de material, incluidos metales, óxidos metálicos y sustancias orgánicas. Deben ser químicamente estables, adherirse bien a la superficie que cubren, tener un espesor uniforme, y disponer de una baja densidad de imperfecciones.

Son utilizadas con fines decorativos o de protección: para formar conductores, resistores y otros tipos de películas en circuitos microelectrónicos. También se emplean para formar positivos fotovoltaicos que convierten energía solar en electricidad, y como recubrimientos ópticos en lentes (películas antireflectantes) y parabrisas, así como para burbujas de jabón.

NANOMATERIALES 3D

Los nanomateriales 3D (3 dimensiones macroescalares, 0 dimensiones exteriores en nanoescala, pero estructura interna en nanoescala) son denominados también nanocompuestos, e incluyen los materiales nanoestructurados a granel, las dispersiones de nanopartículas, las multinanocapas, los materiales nanocristalinos, las películas nanoestructuradas, y las superficies nanotexturizadas. Dentro de este grupo se encuentran compuestos de metales, polímeros y materia biológica que permiten comportamiento multifuncional.

Los polímeros son sustancias, naturales o artificiales, consistentes en moléculas de cadena larga. El plástico es el más común de los polímeros artificiales.

Otro ejemplo de nanomaterial 3D es la nanoestructura de grafeno en forma de caja, BSG (*Box Shaped Graphene*), que aparece tras la escisión mecánica del grafito pirolítico. Esta nanoestructura es un sistema multicapa de nanocanales huecos paralelos situados a lo largo de la superficie y con sección transversal cuadrangular. El grosor de las paredes de los canales es aproximadamente igual a 1 nm, y la anchura típica de las facetas de los canales es de unos 25 nm.

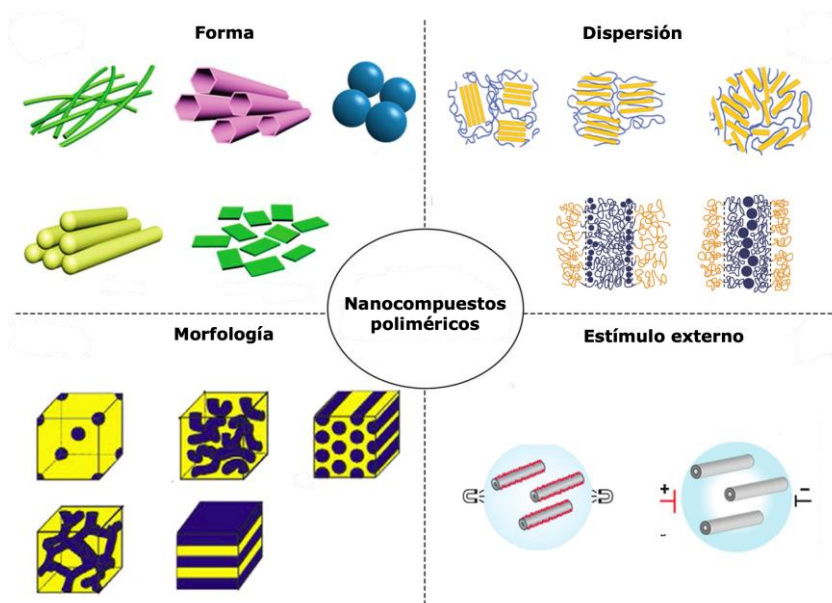


Figura 15: Ejemplos de nanomateriales 3D. Fuente: Modificado de ResearchGate

PROPIEDADES DE LOS NANOMATERIALES

Los nanomateriales se desarrollan para mostrar características novedosas en comparación con el mismo material en la escala convencional, haciéndolos 'mejores', en el sentido de convertirlos en materiales más adecuados para determinados propósitos. La nanotecnología es interesante porque se observan propiedades inusuales de los materiales a una escala muy pequeña de tamaño. Los materiales no se comportan ni como los átomos de los que están hechos, ni como el material de gran volumen con el que estamos familiarizados.

La materia puede exhibir en la nanoescala propiedades físicas, químicas y biológicas inusuales, muy diferentes a las mostradas en macroescala. En la nanoescala se observan propiedades y fenómenos totalmente nuevos, que se rigen bajo las leyes de la mecánica cuántica. Estas nuevas propiedades son las que los científicos aprovechan para crear nuevos materiales (nanomateriales) y dispositivos nanotecnológicos.

Entre estas propiedades están la rigidez, la reactividad química, la temperatura de fusión, la reflexión de la luz, la conductividad eléctrica o la permeabilidad magnética, entre muchas otras. Las propiedades de las nanopartículas dependen de muchos factores, destacando de su forma, tamaño, características de superficie y estructura interna.

Así las propiedades eléctricas, magnéticas, ópticas o mecánicas de las nanopartículas son muy sensibles a su tamaño, y pueden ajustarse y modificarse a voluntad, variando su forma y dimensiones. La presencia de determinadas sustancias químicas también puede alterar dichas propiedades. La composición de las nanopartículas y los procesos químicos que tienen lugar en su superficie pueden alcanzar una gran complejidad. Las nanopartículas pueden agruparse o permanecer en estado libre, en función de las fuerzas de atracción o repulsión que intervengan entre ellas.

Estas nuevas propiedades del nanomaterial, dado que pueden ajustarse a voluntad, pueden aprovecharse para conseguir determinadas características de comportamiento. Por ejemplo, se puede conseguir que un material sea hidrófugo o hidrófilo; o más resistente a distintos agentes externos como el fuego o la corrosión; o bactericida; o más conductivo o reactivo; o un largo etc.

La nanotecnología puede así ser imaginada como la extensión de las disciplinas tradicionales hacia la consideración explícita de las mencionadas propiedades mecánico-cuánticas. Además, las disciplinas tradicionales pueden ser reinterpretadas como aplicaciones específicas de nanotecnología.



	Ejemplos de NMs	Propiedades físicas/químicas	Aplicaciones
Basados en carbono	Fulerenos, Nanotubos, Grafeno	Estable, reactividad limitada, excelente conducción térmica y eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Biomedicina • Celdas fotovoltaicas • Industria automotriz y espacial
Basados en metales	Nanopartículas de oro, plata y óxidos de metales	Fotovoltaica, capacidad de bloquear los rayos UV y alta reactividad	<ul style="list-style-type: none"> • Celdas solares • Pinturas • Cosméticos y bloqueador solar • Remediación ambiental
Puntos cuánticos	1 nm ————— 10 nm Núcleo de materiales conductores o semiconductores (menores a 10 nm)	Los metales o semiconductores que componen el núcleo controlan las propiedades	<ul style="list-style-type: none"> • Biomagen médica • Terapéutica dirigida • Celdas solares • Fotonica y telecomunicaciones
Dendrímeros	Estructuras ramificadas y 3D de polímeros	Nanoestructuras capaces de transportar fármacos	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte y liberación de fármacos • Sensores químicos
Nanomateriales compuestos	Combinación de dos tipos de materiales	Componentes multifuncionales con novedosas características	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte y liberación de fármacos • Detección de cáncer • Mejora propiedades mecánicas de otros materiales

Figura 16: Propiedades únicas en los nanomateriales. Fuente: imaskfarma.com

En escala nanométrica, la cerámica se hace transparente como el vidrio. El vidrio es tan resistente como el pegamento y los metales se convierten en colorantes y poseen propiedades magnéticas que se pueden activar o desactivar a voluntad. El oro en nanoescala cambia su característico color dorado, pudiendo aparecer como rojo o púrpura dependiendo del tamaño de la partícula, debido a su diferente interacción con la luz comparada con las partículas de oro en la macroescala.

Los materiales reducidos a la nanoescala pueden súbitamente mostrar propiedades muy diferentes a las que exhiben en una macroescala, posibilitando aplicaciones únicas:

- Sustancias opacas se vuelven transparentes (cobre).
- Materiales inertes se transforman en catalizadores (platino).
- Materiales estables se transforman en combustibles (aluminio).
- Sólidos se vuelven líquidos a temperatura ambiente (oro).
- Aislantes se vuelven conductores (silicona).

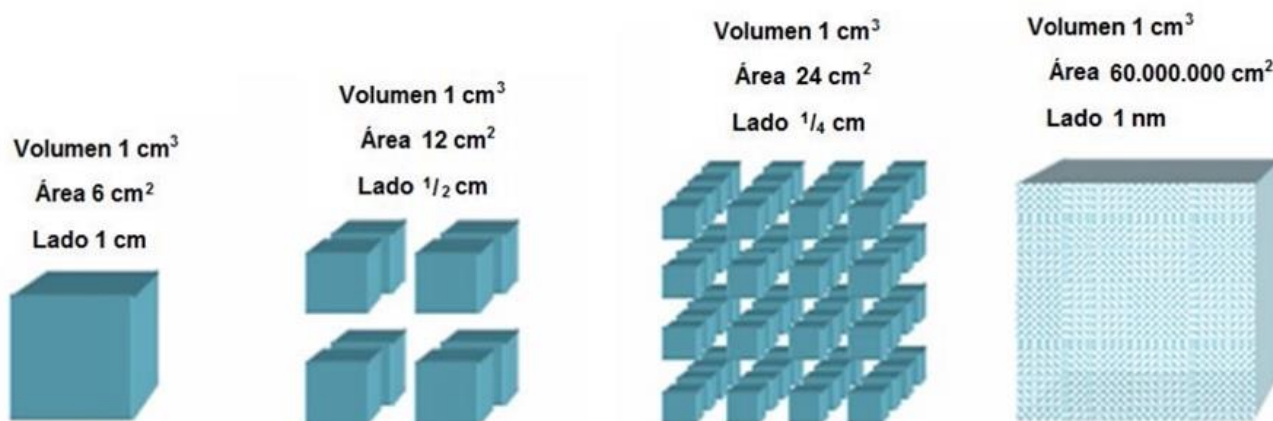
Un aspecto único de la nanotecnología es la enorme razón de superficie a volumen presente en los nanomateriales, que propicia la aparición en nanoescala de nuevos efectos mecánico-cuánticos. Estos efectos no tienen importancia al ir de macro a microdimensiones, sin embargo, se vuelve dominante cuando la nanoescala es alcanzada.

Así, los nanomateriales tienen una proporción área-volumen mucho mayor que los mismos materiales a granel en la macroescala. Según esta proporción se incrementa, también lo hace la reactividad química del material. Esto es debido a que, al existir un área superficial mucho mayor, también una mayor cantidad de materia está expuesta al entorno cercano y puede reaccionar químicamente con él. Esto posibilita que los nanomateriales sean por naturaleza buenos catalizadores.

Es decir, a medida que disminuye el tamaño de la partícula aumenta el área superficial por unidad de masa, lo que se traduce en un mayor número de átomos en la superficie por unidad de volumen. A su vez, esto implica que se tiene mayor espacio para interactuar con otros átomos y moléculas, tanto para atraerse (interacciones de Van der Waals, puentes de hidrógeno, interacciones electrostáticas, etc.) como para repelerse debido a la interacción entre sus nubes electrónicas. Estas interacciones causan efectos superficiales, electrónicos y cuánticos, que afectan al comportamiento óptico, eléctrico y magnético de los materiales en la nanoescala.

Con todo ello, se consigue que con una cantidad muy pequeña de nanomaterial se puedan modificar y mejorar de forma muy significativa las propiedades de otros materiales, proporcionándole un gran potencial y valor añadido. Un ejemplo de esto serán los polímeros dopados con nanotubos de carbono, los cuales hacen que el material polimérico dopado tenga una ligereza, resistencia mecánica y funcionalidad superior a la de los metales.

Relación superficie-volumen:



- Menor cantidad de producto para obtener el mismo efecto
- Mayor eficacia de los productos. Catálisis heterogénea: mayor superficie activa → más activa será la catálisis.

Figura 17: Proporción área-volumen en los nanomateriales. Fuente: insst.es

TÉCNICAS DE NANOFABRICACIÓN

La fabricación de materiales en la nanoescala es denominada nanofabricación, concepto que engloba la fabricación de nanomateriales, nanoestructuras, nanodispositivos y nanosistemas. Requiere de escalabilidad, confiabilidad y eficiencia de costes, y comprende la investigación y desarrollo de diversas estrategias, enfoques y técnicas de fabricación.

Existen tres clasificaciones habituales de las técnicas de nanofabricación:

- Según la estrategia de obtención del nanomaterial.
- Según el medio en el que se obtiene el nanomaterial.
- Según el método científico empleado para la obtención del nanomaterial.

NANOFABRICACIÓN SEGÚN LA ESTRATEGIA DE OBTENCIÓN

De acuerdo con la estrategia de obtención del nanomaterial, existen principalmente dos enfoques para la producción de estructuras, dispositivos y sistemas basados en nanomateriales:

- *Top-down*, también denominada descendente o 'de arriba a abajo'.
- *Bottom-up*, también denominada ascendente o 'de abajo a arriba'.

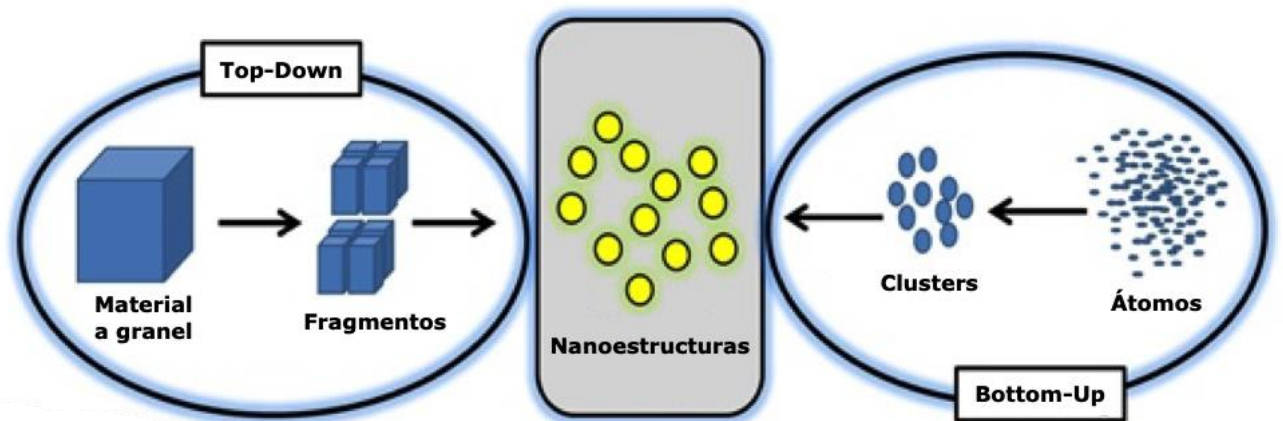


Figura 18: Estrategias ascendente y descendente. Fuente: modificado de nanoscience.com

La metodología *top-down* es barata, pero rígida. La metodología *bottom-up*, es versátil, pero cara.

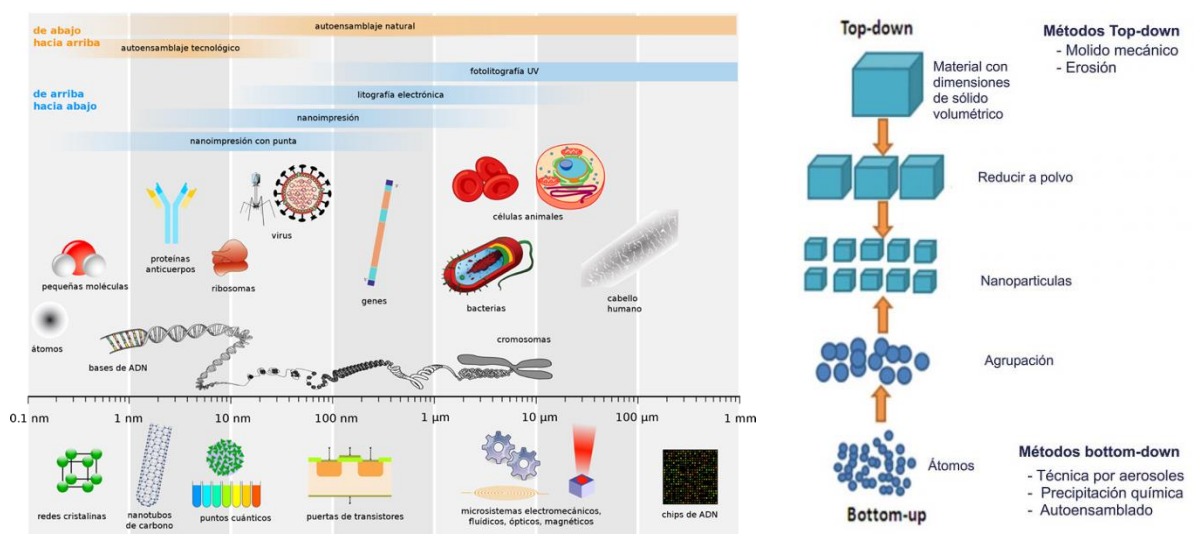


Figura 19: Ejemplos de métodos top-down y bottom-up. Fuente: interempresas.net

Estrategia top-down

El enfoque *top-down* consiste en la aplicación de técnicas de miniaturización de la materia hasta la escala nanométrica. Es la más frecuente en la actualidad, y se emplea por ejemplo en el ámbito de la electrónica.

Las metodologías descendentes de fabricación de nanoestructuras incluyen, entre otros, los métodos de transferencia de patrones, los métodos sustractivos o de grabación y los métodos aditivos o de película fina (*thin-film*). Procesos típicos de esta metodología son molienda, ataque, corte, pulido, litografía, grabado, vaporización, enfriamiento, o pirólisis, entre otras. Permiten interconexión e integración, como en los circuitos integrados.

La estrategia descendente consiste por tanto en la fabricación de nanomateriales a partir de materiales de mayor escala que se van reduciendo hasta alcanzar la escala nanométrica. Este método ofrece fiabilidad y complejidad en los dispositivos, pero lleva asociados elevados costes energéticos, mayor imperfección en la superficie de la estructura, y problemas de contaminación.

Esta técnica se utiliza por ejemplo en la industria microelectrónica de materiales o en litografía, donde se exponen materiales a la luz como iones o electrones, para conseguir la forma y tamaño deseados. Con carácter general, se construyen nanopartículas sometiendo materiales convencionales a diversos procesos mediante procesos de molienda de piezas grandes y uniformes del material a granel.

Las técnicas de litografía más típicas de la estrategia descendente son:

- Fotolitografía:
 - Usada para hacer nanochips.
 - Se parte de un sustrato rígido (por ejemplo, una oblea de silicio), recubierto de un material fotosensible, y es expuesto a luz ultravioleta que rompe las cadenas poliméricas.
 - Muy costoso, y tiene efectos de difracción.
- Litografía de haz de electrones:
 - Usada para nanomáquinas y sistemas nanoelectromecánicos (NEMS).
 - Se usa una película polimérica, sobre la que se traza el patrón mediante un haz de electrones.
 - Costoso y demorado.
- Litografía de rayos X:
 - Usada para fabricación de dispositivos electrónicos.
 - Se minimizan los efectos de difracción debido a la longitud de onda de los rayos X.
 - Posibles daños por radiación en el material.
- Litografía suave:
 - Usada para fabricación de nanoestructuras con aplicaciones biológicas.
 - Se emplean procesos mecánicos para estampado, impresión y moldeo.
 - Bajo coste, no se requieren equipos especializados.

Algunas nanoestructuras, como los nanocables de silicio, pueden fabricarse usando ambas técnicas, ascendente o descendente, seleccionando una u otra según la aplicación objetivo.

Estrategia bottom-up

El enfoque *bottom-up* consiste en el proceso contrario al *top-down*, es decir, a la construcción de estructuras a partir de elementos más pequeños. Se comienza con una estructura nanométrica (por ejemplo, una molécula) y, mediante un proceso de montaje o autoensamblado, se obtiene una estructura mayor. Esta técnica, que permite un control extremadamente preciso, es típicamente empleada en biomedicina. Crea estructuras idénticas con precisión atómica, como las entidades funcionales supramoleculares de los organismos vivos.

La estrategia ascendente consiste por tanto en la construcción de estructuras, átomo a átomo o molécula a molécula. El grado de miniaturización alcanzado mediante esta técnica es superior al que se puede alcanzar con la estrategia descendente, ya que gracias a los microscopios se dispone de una gran capacidad para situar átomos y moléculas individuales en un lugar determinado.

Para la formación de nanopartículas con estructuras complejas se prefiere utilizar el enfoque ascendente, que usa las propiedades químicas de las moléculas para la autoorganización y el autoensamblado de las mismas, o para su colocación en posiciones determinadas y formación de las estructuras deseadas.

Las técnicas más típicas de la estrategia ascendente son:

- Química molecular y supramolecular:
 - Se emplea para la producción de nanotubos de carbono y de puntos cuánticos.
 - Basada en el concepto de autoensamblaje, diseñando conjuntos de moléculas que se agregan en posiciones y estructuras deseadas.
 - Permite ligar estructuras biológicas con estructuras inorgánicas.
- Sondas de exploración (*scanning probes*):
 - Usada en el análisis de conjuntos de átomos en una superficie, o para mover átomos.
 - Emplea puntas para escanear superficies de materiales.
- Biotecnología:
 - Se usa en la construcción de secuencias de ADN y ensamblaje artificial de virus, biomotores y biosensores.
 - Basada en diferentes técnicas de manipulación de ADN para obtener nanomateriales de alta especificidad y precisión.

NANOFABRICACIÓN SEGÚN EL MEDIO

De acuerdo con el medio en el que se producen las nanopartículas, se obtienen dos enfoques claramente diferenciados: nanotecnología seca, y nanotecnología húmeda. La nanotecnología seca es empleada en la fabricación de estructuras en materiales que no funcionan con humedad, por ejemplo, el carbono o diferentes metales o semiconductores como el silicio. Se emplea para la producción de dispositivos mecánicos (diminutos, pero tradicionales) ópticos, y magnéticos, en general en el desarrollo de nanomateriales inorgánicos, como fullerenos o nanotubos de carbono.

Al contrario que la nanotecnología seca, la técnica húmeda emplea elementos que se desempeñan en entornos acuosos, por ejemplo, el material genérico o membranas. Se emplea para el desarrollo de sistemas biológicos para la manipulación del material genético, membranas, enzimas, componentes celulares, y todo sistema que necesite un medio acuoso.

NANOFABRICACIÓN SEGÚN EL MÉTODO CIENTÍFICO

Los métodos empleados para obtener nanopartículas y nanomateriales pueden clasificarse también el origen científico del método. De acuerdo a este enfoque, los métodos se clasifican como:

- Químicos:
 - Reducción del metal, síntesis electroquímica, micelas y microemulsiones.
- Físicos:
 - Condensación con un gas inerte, corte por láser, pirólisis.
- Biológicos:
 - Uso de microorganismos como factorías para la síntesis.
- Híbridos:
 - Mezcla de los métodos anteriores

Los métodos físicos y químicos son los más empleados actualmente en la síntesis de nanopartículas, debido a su potencial para controlar adecuadamente el tamaño, la distribución de tamaño y la forma de las nanopartículas.

En los métodos químicos de síntesis de nanopartículas se utilizan agentes reductores y estabilizadores, que en ocasiones resultan tóxicos y contaminantes peligrosos que son perjudiciales tanto para el medio ambiente como para la salud humana, lo que limita en gran medida sus aplicaciones biomédicas. Así, el desarrollo de métodos fiables, no tóxicos y respetuosos con el medio ambiente para la síntesis de las nanopartículas es de suma importancia para ampliar sus aplicaciones biomédicas.

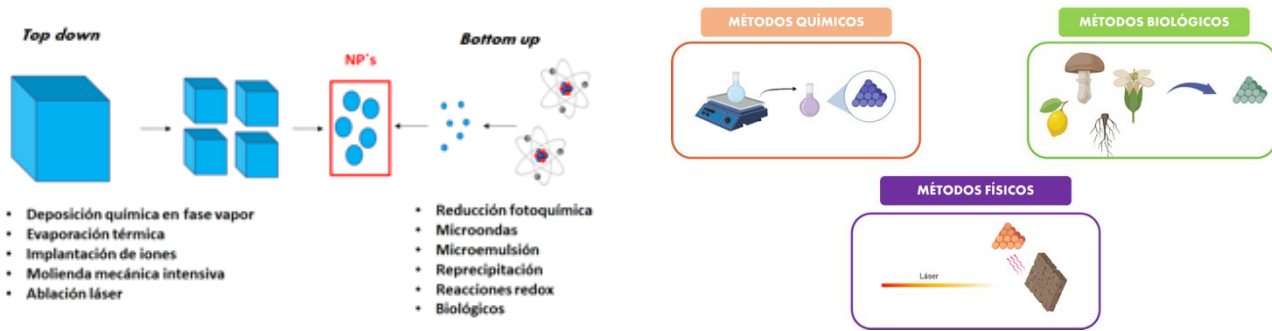


Figura 20: Nanofabricación según el método científico. Fuente: idus.us.es

Una de las opciones para alcanzar este objetivo es el uso de microorganismos para sintetizar nanopartículas, mediante procesos enzimáticos. Recientemente se están empleando los métodos biológicos de síntesis de nanopartículas como alternativa a los métodos clásicos, debido a las ventajas que ofrecen. Se ha descubierto que muchos microorganismos pueden producir nanopartículas bacterias, hongos, levaduras e incluso en virus.

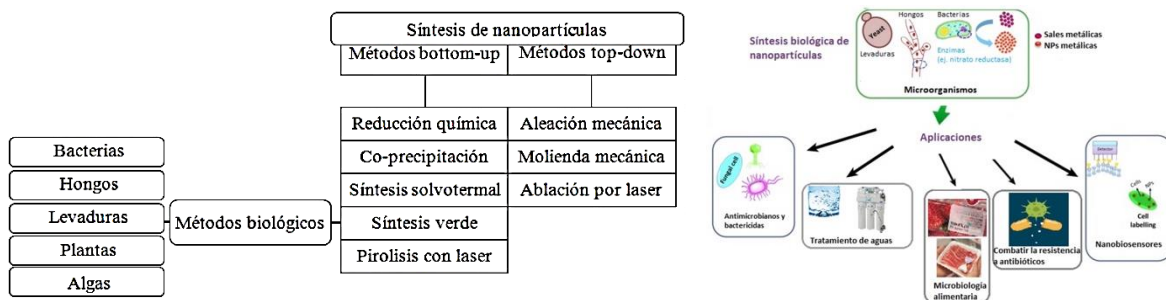


Figura 21: Síntesis biológica de nanopartículas. Fuente: idus.us.es

MICROSCOPIOS DE SONDAS DE BARRIDO

La nanotecnología requiere de la habilidad para entender y controlar de forma precisa la materia en la nanoescala. Para poder obtener la ventaja de sus propiedades especiales, es necesario tanto poder ver como poder manipular el nanomaterial. Los microscopios tradicionales no pueden emplearse para esto, por falta de alcance y precisión.

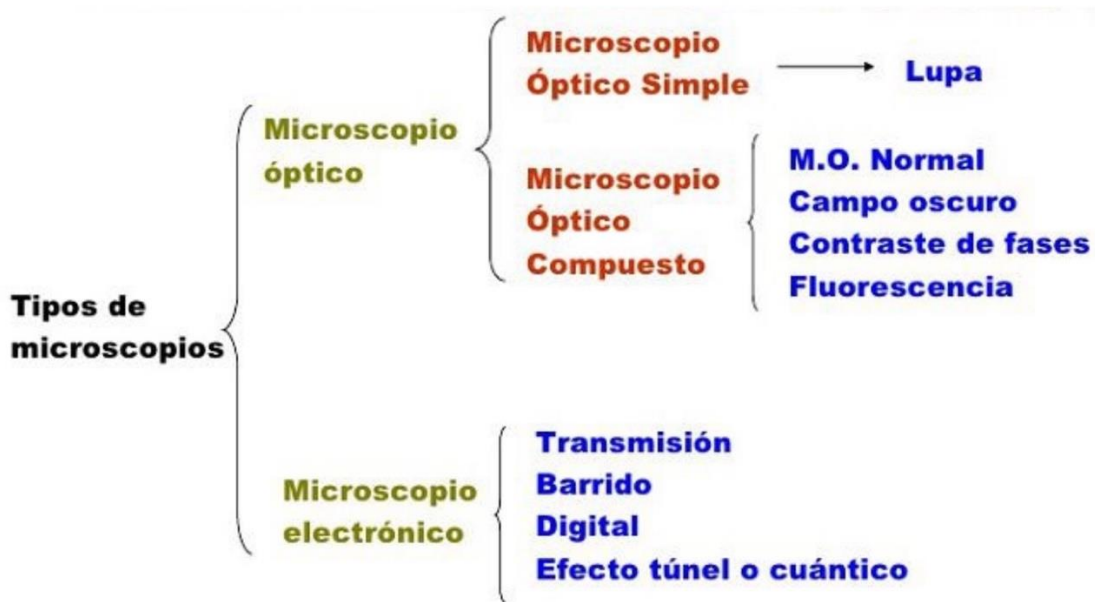


Figura 22: Tipos de microscopio. Fuente: eva.udelar.edu.uy

Los primeros microscopios en aparecer fueron los microscopios ópticos, desde una simple lupa hasta un conjunto de lentes compuestas. Si el tamaño del objeto es menor que la longitud de onda de la luz visible (de 400 a 700 nm), no puede ser observado por un microscopio óptico. En términos de amplificación, estos microscopios no pueden ampliar más de 1000 veces. El rango de resolución de un microscopio óptico va de 1 mm (10^{-3}) a 1 micra (10^{-6}).

El microscopio electrónico tiene una resolución de entre 1 mm (10^{-3}) y 1 nm (10^{-9}), por lo que puede usarse para la determinación de estructuras a nivel molecular y atómico. Su resolución no está limitada por la difracción, aunque sí por las lentes utilizadas. Por su parte, el microscopio de campo cercano tiene una resolución aún mayor, entre 1 micra (10^{-6}) y 1 angstrom (10^{-10}).

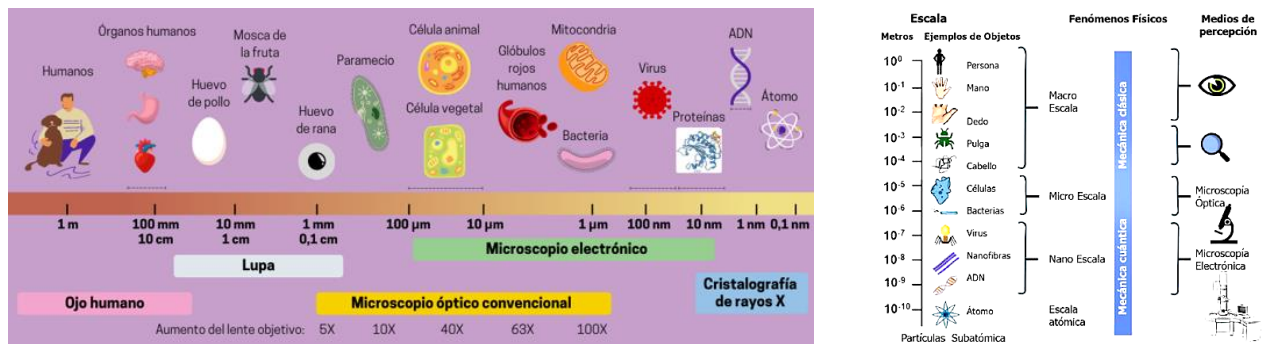


Figura 23: Resoluciones de microscopios. Fuente: cendhy.cl

Dentro de los micrófonos electrónicos, las dos grandes familias son los micrófonos electrónicos de transmisión (*Transmission Electronic Microscope, TEM*), y los micrófonos electrónicos de barrido (*Scanning Electronic Microscope, SEM*). Éstos últimos han resultado fundamentales en el nacimiento y evolución de la nanotecnología.

El SEM se usa para exploración de materiales en nanoescala. Es capaz de producir imágenes de alta resolución de la superficie de una muestra utilizando las interacciones electrón-materia, aplicando un haz de electrones en lugar de un haz de luz.

A su vez, dentro de la familia de micrófonos electrónicos de barrido, destacan en nanotecnología los micrófonos electrónicos de sonda de barrido (*Scanning Probe Microscope, SPM*), también llamados micrófonos electrónicos de sonda de exploración.

La familia de microscopios SPM agrupa un conjunto muy grande de técnicas, basando todas ellas su funcionamiento en la medición de la interacción entre una sonda o punta muy fina y una muestra, permitiendo estudiar con resolución atómica las propiedades locales de superficies. Pueden trabajar en aire, líquido, gases, o vacío, entre otros medios, y es muy eficaz generando imágenes reales en 3D.

Los microscopios SPM están conformados por tres partes fundamentales: la sonda, el sistema de barrido con mecanismo de retroalimentación, y los controles electrónicos. Estos tres componentes influyen en la resolución espacial alcanzada, y en el tipo y magnitud de la interacción que se mide.

Las técnicas más relevantes de SPM son la microscopía de efecto túnel (*Scanning Tunnelling Microscope, STM*, inventada en 1981) y la microscopía de fuerza atómica (*Atomic Force Microscope, AFM*, inventada en 1986).

Ambas han propiciado el nacimiento, impulso y revolución de la nanotecnología. Desde su aparición, estas versiones tempranas de STM y AFM han evolucionado hacia nuevos y más sofisticados microscopios de sonda de barrido.

Así, entre las técnicas y herramientas para visualizar y manipular objetos (nanopartículas), sus relaciones y sus procesos y propiedades a escalas nanométricas, cabe mencionar los microscopios ATM y STM. El STM permite la investigación de superficies conductoras de electricidad por debajo de la escala atómica, y el AFM es particularmente útil para ver muestras biológicas.

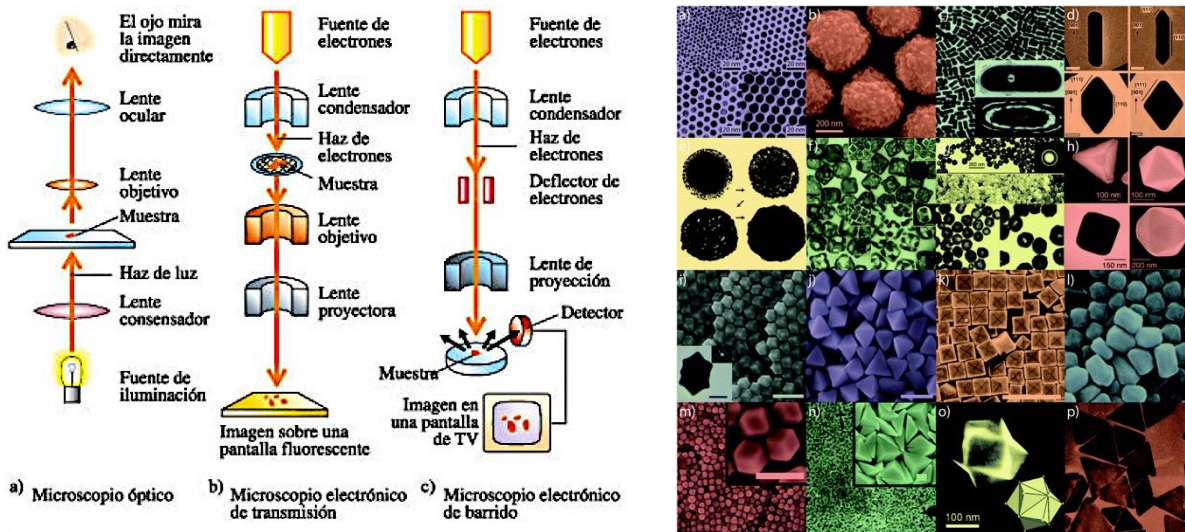


Figura 24: Microscopios para percepción en la nanoescala. Fuente: Pinterest

La microscopía de sondas de exploración es una técnica importante para la caracterización y síntesis de nanomateriales. Los microscopios de fuerza atómica (AFM) y los de escaneo de efecto túnel (STM) pueden emplearse tanto para examinar superficies como para mover los átomos. Diseñando diferentes puntas para estos microscopios, pueden ser usadas para tallar estructuras en superficies o para guiar el autoensamblado de estructuras. La punta de una sonda de barrido puede ser también empleada para manipular nanoestructuras (proceso conocido como ensamblaje posicional).

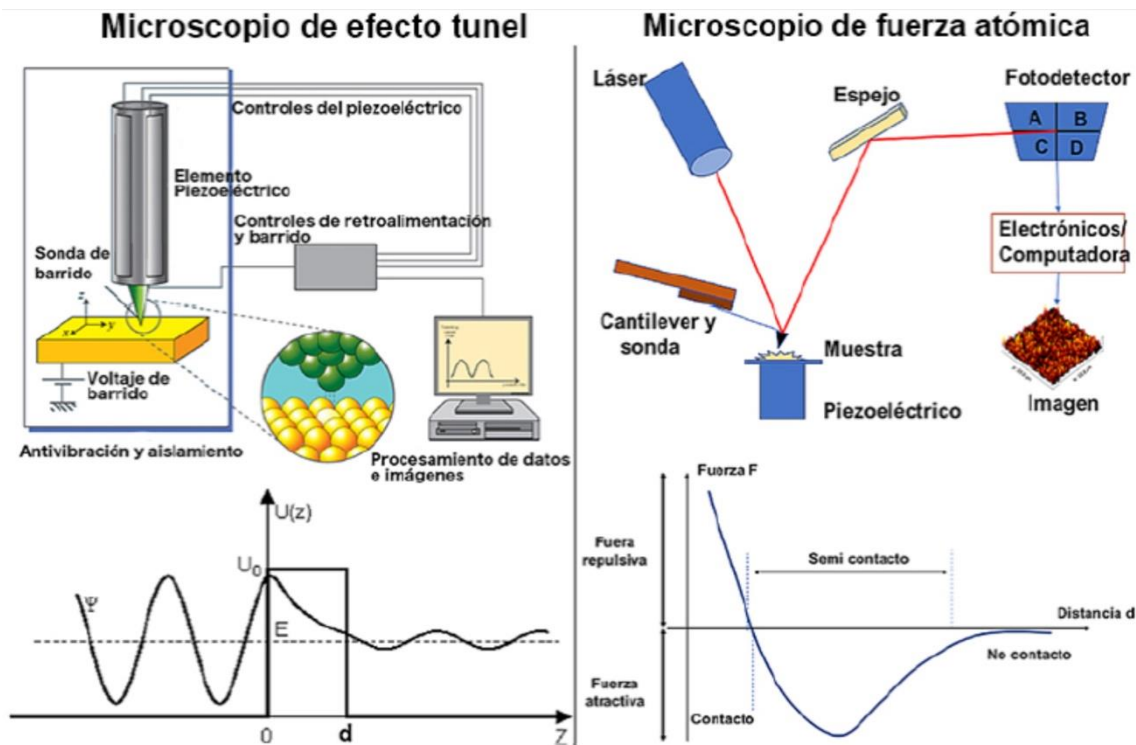


Figura 25: Funcionamientos comparados de los microscopios STM y AFM. Fuente: mundonano.unam.mx

Microscopio de efecto túnel

El micrófono STM funciona colocando una punta afilada a aproximadamente 1 nm de la muestra que se va a examinar, existiendo una circulación por el flujo de corriente por el efecto túnel. Así, cuando una punta conductora es colocada muy cerca de la superficie a ser examinada, una corriente de polarización (diferencia de voltaje) aplicada entre las dos puede permitir a los electrones pasar de un lado al otro mediante el efecto túnel.

La resultante corriente de tunelización es una función de la posición de la punta, el voltaje aplicado, y la densidad local de estados de la muestra. La información es entonces adquirida monitorizando la corriente conforme la posición de la punta va escaneando a través de la superficie, y es desplegada en forma de imagen.

Este microscopio no tiene lentes, y permite observar imágenes de estructuras superficiales en el espacio real, tridimensional, y con resolución atómica. Requiere de superficies limpias y estables, puntas afiladas, control de vibraciones, y electrónica sofisticada.

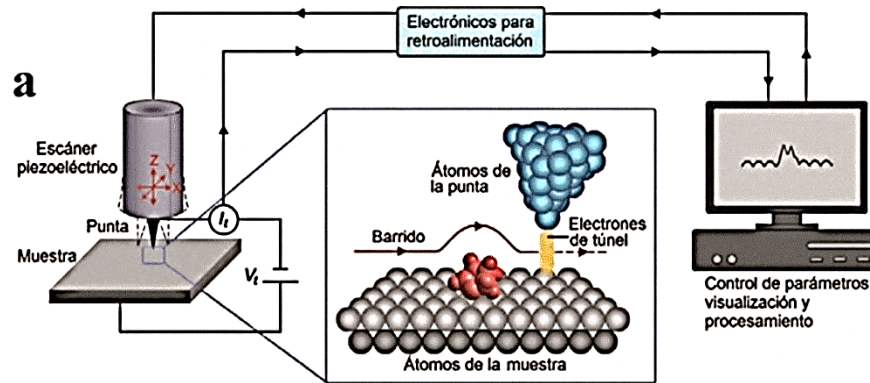


Figura 26: Esquema de funcionamiento del microscopio STM. Fuente: scielo.org.mx

Microscopio de fuerza atómica

Por su parte, el micrófono AFM nació de la idea de los micrófonos de proximidad, siendo capaz de medir la fuerza entre la punta y la muestra, cuando están entre 1 y 4 nm de distancia. Su funcionamiento es parecido al de un fonógrafo, pero a una escala mucho más pequeña. La punta afilada situada en el extremo de una palanca flexible interactúa con la superficie de la muestra.

Un haz láser se refleja en la parte trasera en un conjunto de fotodetectores, permitiendo que el desvío (la variación de altura de la punta sobre la superficie) sea medido y se forme una imagen de la superficie. Un sistema auxiliar piezoeléctrico desplaza la muestra tridimensionalmente, mientras que la punta recorre ordenadamente la superficie. Todos los movimientos son controlados por una computadora.

En el microscopio AFM se pueden utilizar diferentes técnicas para obtener las imágenes, según cómo interactúe la palanca con la superficie. Es posible mantener la fuerza de interacción constante y la punta en contacto con la superficie, o situarla a una distancia muy leve y oscilar la palanca, por ejemplo.

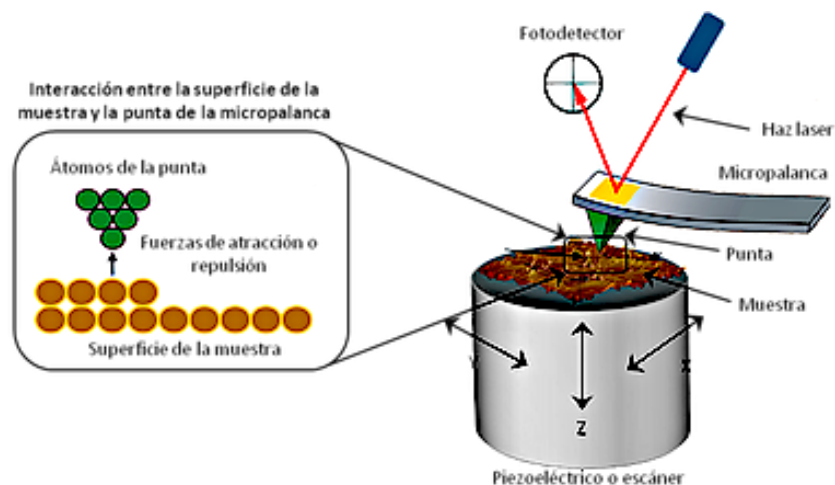


Figura 27: Esquema de funcionamiento del microscopio AFM. Fuente: linan-ipicyt.mx

APLICACIONES DE LA NANOTECNOLOGÍA

La nanotecnología promete soluciones a múltiples problemas a los que se enfrenta actualmente la humanidad, como los ambientales, ecológicos o sanitarios. Es una disciplina relativamente joven, y forma parte del conjunto de la nueva generación de tecnologías innovadoras, a veces llamada "nueva revolución industrial".

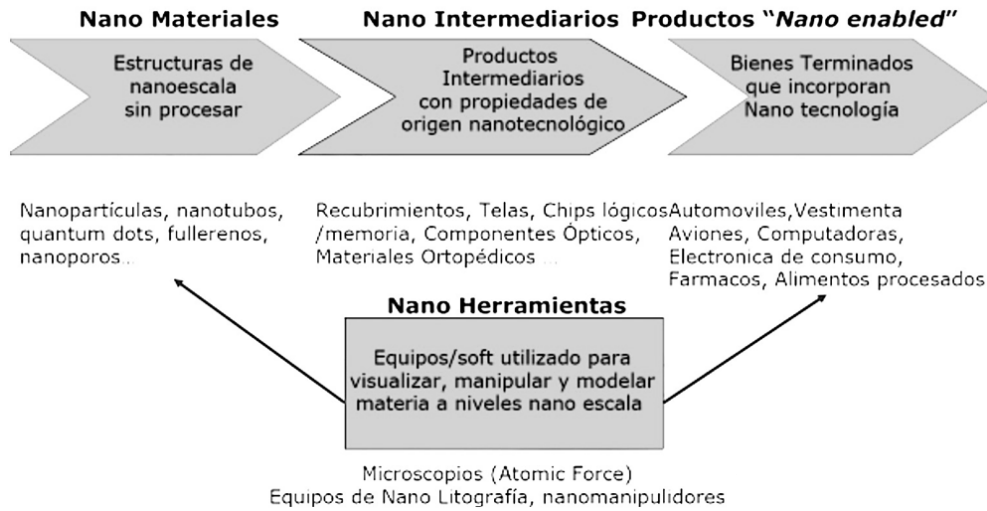


Figura 28: Cadena de valor en nanotecnología. Fuente: Pinterest

La obtención de materiales inteligentes de propiedades asombrosas, junto con la producción de nanomáquinas para construir a demanda átomos y moléculas, abren un sinfín de opciones de mejora y evolución en múltiples sectores de la industria y de la sociedad. La nanotecnología comprende un campo muy amplio de investigación, y su abanico de aplicaciones está todavía en consolidación.

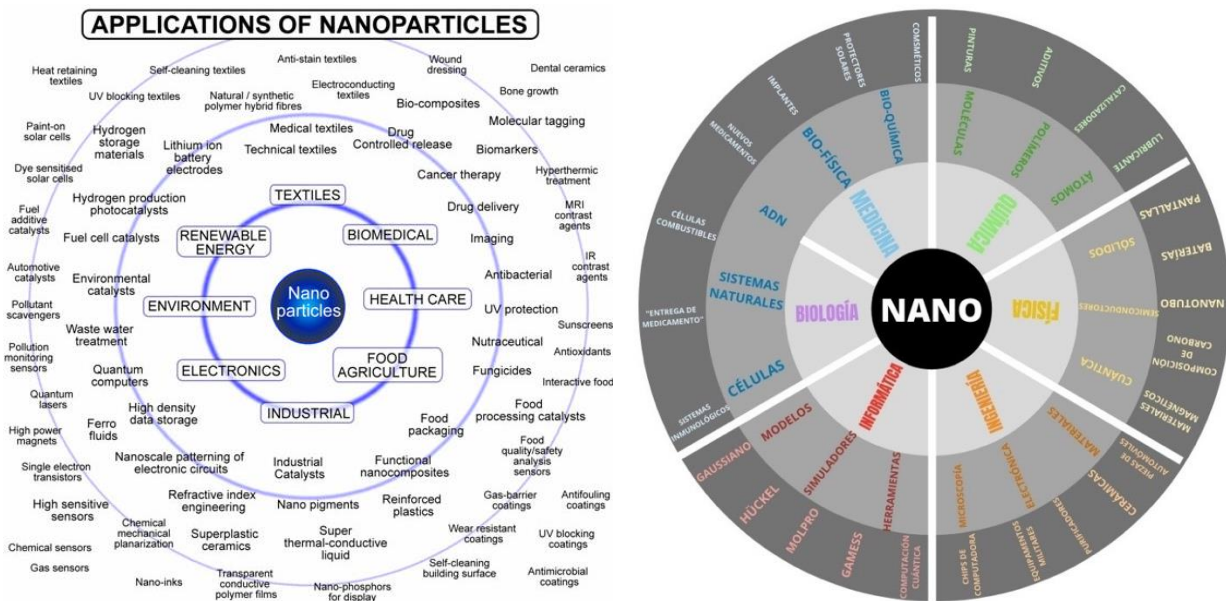


Figura 29: Ilimitadas aplicaciones en nanotecnología. Fuente: ResearchGate

Sus aplicaciones son virtualmente infinitas, muchas de ellas aún bajo definición y experimentación, y representa una verdadera revolución científico-tecnológica. La nanotecnología es un mercado floreciente, empleado ya en la actualidad en multitud de tecnologías y productos de consumo, en sectores tales como agricultura y ganadería, alimentación, cosmética, defensa, energía, medicina y farmacología, medio ambiente, tecnologías de la información y las comunicaciones, textil, transporte, revestimientos y materiales, etc.



Figura 30: Áreas de innovación en nanotecnología. Fuente: nuevastecnologiasymateriales.com

MEDICINA

En el ámbito de la medicina, la nanotecnología posibilita, por ejemplo, realizar diagnósticos moleculares de mayor precisión y complejidad, así como diagnosticar enfermedades de origen genético o infeccioso con mayor antelación. Las capacidades de medición y monitorización también se ven mejoradas mediante el empleo de biochips a nanoescala y de biosensores para, por ejemplo, la detección no invasiva de glucosa en sangre. Además, se trabaja en desarrollar de nanomateriales para instrumental y equipos analíticos.

La producción de nanosensores centinelas dentro del cuerpo humano, capaces de detectar y destruir células cancerígenas, es quizás la mayor esperanza depositada hoy día en la evolución de la nanotecnología. Así, se podrán diseñar nanotratamientos no invasivos contra el cáncer, contra el VIH, contra enfermedades neurodegenerativas, o contra el mal de Alzheimer mediante nanobots bioquímicos.

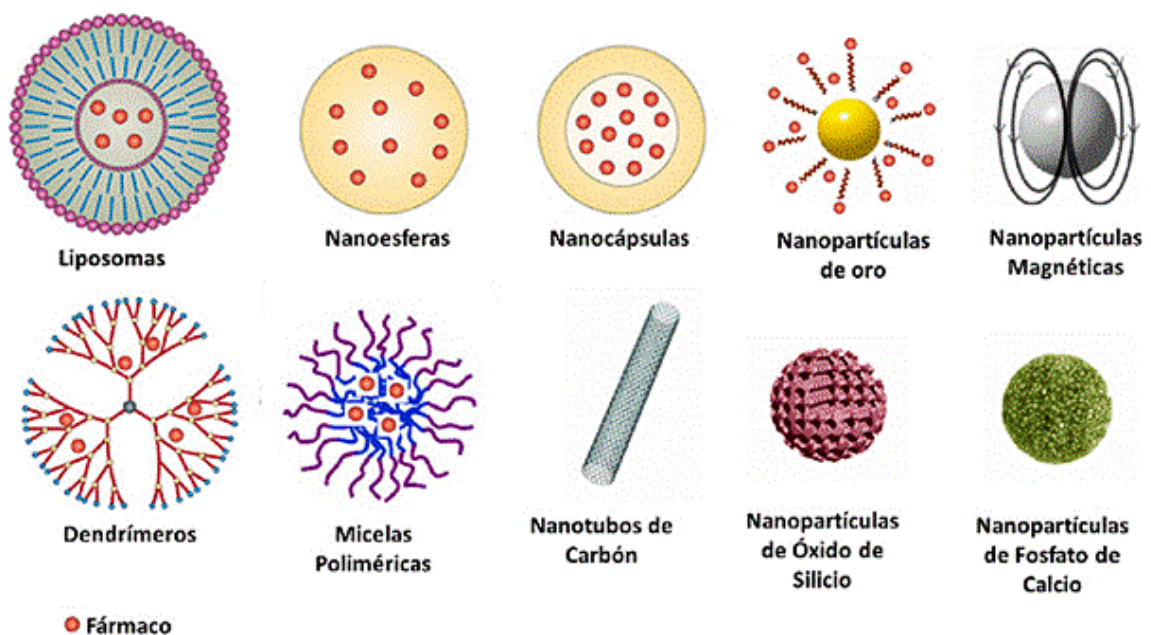


Figura 31: Ejemplos de nanopartículas transportadoras de fármacos. Fuente: mundonano.com.mx

Se podrán diseñar fármacos mejorados y dirigirlos hacia los órganos y células deseados. Estos nanofármacos, administrados mediante nanocápsulas transportadoras y liberadoras del contenido, son capaces de distribuir de manera eficiente y específica los compuestos activos de las medicinas. Su objetivo consiste en obtener mejores y más rápidos resultados y minimizando los daños colaterales.

La nanotecnología permite crear materiales como el silicio negro bactericida, cuya composición molecular impide, sin necesidad de productos añadidos, la proliferación de numerosas especies de bacterias grampositivas y gramnegativas, disminuyendo además la efectividad de ciertos tipos de endosporas.

Se podrán realizar operaciones de nanocirugía mediante nanobots programados o dirigidos, y se podrá combatir y retrasar el envejecimiento y la senilidad a nivel molecular. También se espera poder llevar a cabo nanomedicina regenerativa de tejidos: huesos, músculos, piel, órganos. Incluso, se podrán alojar nanobots en el cerebro para incrementar la memoria y la capacidad de razonamiento, o para conectar nuestro sistema nervioso a una red de conocimiento de acceso inmediato.

La biotecnología, que consiste en la aplicación de soluciones tecnológicas a problemas de índole biológico, permite la modificación del ADN para reprogramación genética, eliminando genes portadores de enfermedades congénitas. Esta cuestión conlleva inevitablemente a la elaboración de unas leyes morales y éticas que controlen el uso de esta potentísima tecnología.

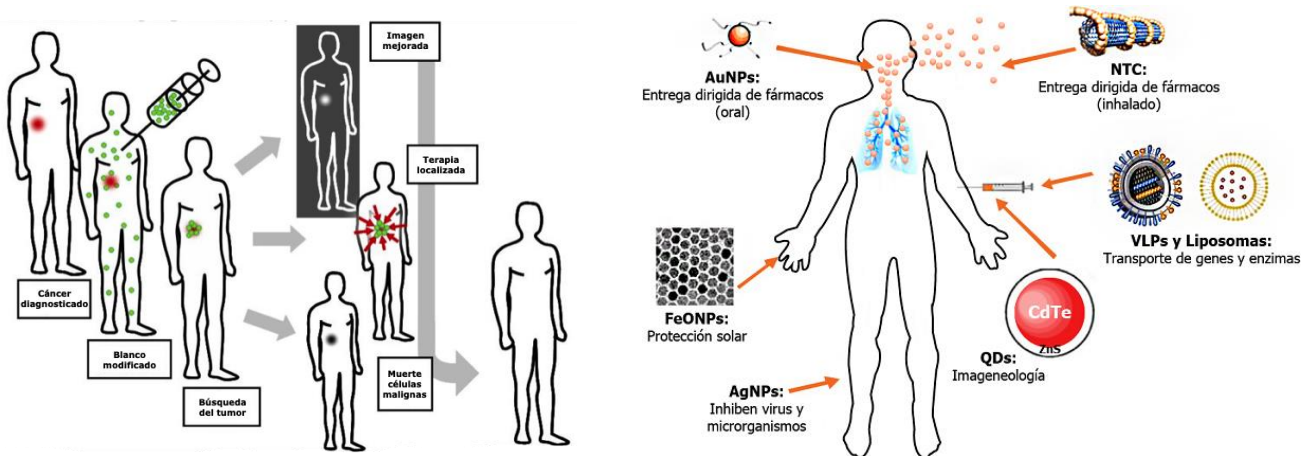


Figura 32: Nanotratamiento contra el cáncer. Fuente: modificado de Wikipedia

TEXTIL

La nanotecnología permite diseñar y producir ropa con propiedades asombrosas, impensables hace muy poco tiempo: pantalones que repelen el agua o zapatillas antideslizantes, son algunos ejemplos. Se usa en la creación de tejidos inteligentes, capaces de comportamientos preprogramados en chips u otros instrumentos electrónicos. De este modo pueden ser antiarrugas, autolimpiantes o repelentes de manchas, o pueden cambiar de coloración y de temperatura.

El uso de fibras naturales para la fabricación de tejidos data de tiempos remotos. Actualmente, además del empleo de fibras naturales y sintéticas, la industria textil cuenta con las denominadas fibras inteligentes, que son aquellas fibras que pueden reaccionar a la variación de un estímulo, por ejemplo, alterando su color ante una variación en la intensidad de la luz recibida.

Las fibras inteligentes se obtienen a partir de la técnica de microencapsulación aplicada a los tejidos. Empleada en la industria textil dentro los años 1990, esta técnica consiste en aislar compuestos activos en una membrana natural de forma esférica. Las microcápsulas obtenidas pueden contener retardantes de llama, desodorantes, perfumes, suavizantes, antioxidantes, etc.

Las fibras inteligentes se obtienen principalmente de dos maneras:

- Mediante la integración de nanopartículas en fibras textiles.
- Mediante la refinación de fibras naturales u obtenidas químicamente.

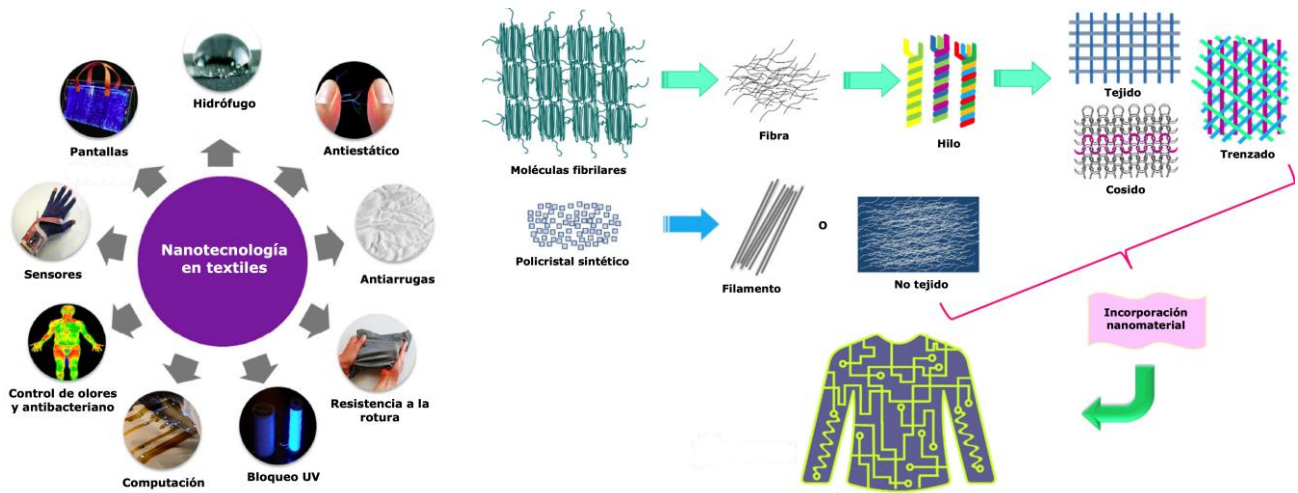


Figura 33: Nanotecnología en la industria textil. Fuente: modificado de mdpi.com

El refinado final (denominado *nanofinishing*) se logra mediante diversos procesos, aún en fase de experimentación:

- Recubrimientos a nanoescala de metales o polímeros.
- Inmersión en soluciones especiales.
- Procesos basados en pulverización.
- Deposición atómica sobre hilos de diferente naturaleza.

Todos ellos tienen el objetivo de obtener fibras con propiedades particulares mejoradas. Ejemplos de tejidos constituidos de fibras inteligentes son:

- Tejidos bactericidas:
 - Destruyen a los microorganismos que penetran en el tejido durante su utilización y generan olores desagradables y decoloración del tejido.
- Tejidos frescos:
 - Aumentan la sensación de frescura ofreciendo una buena permeabilidad al aire. Están basados en el cambio de fase de los materiales microencapsulados, que actúan como termostatos.
- Cosmetotextiles:
 - Previenen la piel contra agentes externos que producen desecamiento o arrugas. Ejemplos de estos tejidos son las medias hidratantes, los pañuelos de seda perfumados o la ropa que incorpora un protector solar.
- Tejidos fotocromáticos:
 - Varían su color cuando se exponen a ondas electromagnéticas del rango de luz visible o no visible (por ejemplo, la ultravioleta o la infrarroja). En estos tejidos, las microcápsulas contienen colorantes sensibles a la acción de la luz.
- Tejidos termocrómicos:
 - Cambian de color según la temperatura exterior.
- Tejidos retardantes de llamas:
 - Empleados en ropa protectora como los uniformes de bomberos, disponen de revestimientos especiales que dificultan la propagación del fuego.
- Tejidos con protección ultravioleta:
 - Su finalidad es la protección de la piel contra los rayos ultravioleta, y disponen de una nanocapa de dióxido de titanio, que, además de incluir protección ultravioleta, presenta una excelente actividad fotocatalítica, es biocompatible y no es tóxico.
- Telas optoelectrónicas:
 - Mediante el equivalente OLED de los televisores, pero en forma de fibras, es posible integrar esta tecnología en los tejidos y alimentarlos con dispositivos electrónicos en nanoescala, para crear una especie de pantalla como parte integral del tejido.

ENERGÍA

La nanotecnología mejora el almacenamiento, producción y conversión de energía de múltiples formas, contribuyendo así a la sostenibilidad energética. Permite reducir costes, multiplicar la potencia de receptores de energía, y optimizar el rendimiento de combustibles, entre otras mejoras.

Las nanopartículas que actúan como catalizadores (nanorreactores) de las reacciones químicas, reducen costes y contaminación, y permiten la producción de energía de forma mucho más eficiente. Esta técnica puede usarse por ejemplo en los motores de vehículos o en el refinado de petróleo.

Mediante el empleo de diversos nanomateriales, se pueden diseñar y producir paneles solares o turbinas eólicas más eficientes. Los nanorecubrimientos cerámicos añaden además durabilidad a las máquinas y componentes industriales. Asimismo, se emplean lubricantes ya aceites mejorados con nanotecnología para prologar la vida útil de multitud de motores y componentes.

Se produce también una mejora de la eficiencia en la producción y consumo de combustible empleando nanotecnología, tanto en vehículos como en fábricas. Asimismo, se optimiza el proceso de extracción de gas y petróleo, y se consiguen tendidos eléctricos con menores pérdidas de potencia de transmisión.



Figura 34: Nanotecnología en la industria energética. Fuente: modificado de rsc.org

El almacenamiento de energía también se optimiza mediante la producción de baterías con nanopartículas, tales que disponen de mayor densidad de potencia, mayor eficiencia energética, menor peso, menor tiempo de recarga.

La temperatura puede regularse mediante técnicas de nanotermología, y el aislamiento térmico se regula de forma mucho más eficiente con nanoaerogeles y nanoespumas.

La nanotecnología también aplica muy eficientemente a la alimentación dispositivos móviles, Por ejemplo, mediante nanocables en ropa o nanopaneles solares en carcasas de móviles, que pueden cargarse con luz solar, con rozamiento o con calor corporal. Incluso existen técnicas basadas en nanotecnología para convertir calor residual en energía eléctrica.

MEDIO AMBIENTE

Los nanocatalizadores, no contaminantes, contribuyen a las reacciones químicas de los procesos de fabricación y combustión, convirtiéndolos en más eficientes y limpios. Ejemplos claros del empleo de nanotecnología para la mejora del medio ambiente son la purificación del aire con iones, y la depuración de aguas residuales con nanoburbujas. También existen sistemas de filtración para metales pesados.

Mediante nanopartículas, es posible también emplear eliminadores de grasa o polvo, así como llevar a cabo tareas bactericidas, sellados reforzados, o emplear pinturas y superficies autolimpiables y resistentes a la suciedad. La nanotecnología contribuye decisivamente a la producción de materiales más eficaces en obras de ingeniería, y a la eliminación de basura y residuos peligrosos. Es posible el empleo de nanosensores para la detección de sustancias químicas dañinas o gases tóxicos en suelo, agua y aire, propiciando la remediación del medio ambiente.

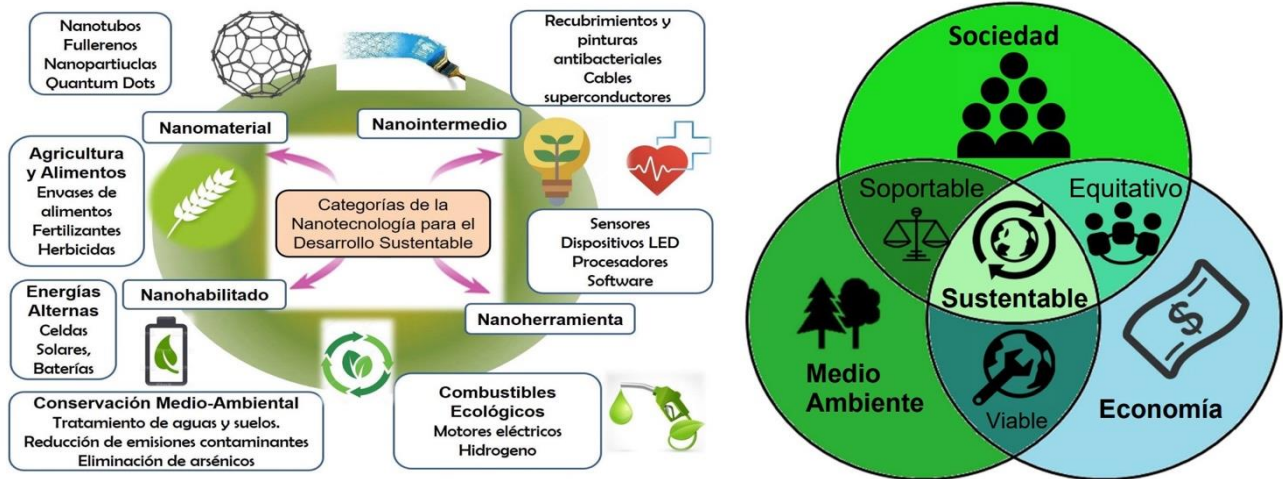


Figura 35: Nanotecnología y medio ambiente. Fuente: uaz.edu.mx

ALIMENTACIÓN

La nanotecnología permite elaborar envases que mejoren la conservación del alimento, diseñados especialmente para retardar el proceso natural de descomposición de la comida, por ejemplo, aumentando la resistencia mecánica y térmica para mejorar su distribución y almacenamiento. Igualmente, es posible producir envases que cambian de color cuando la comida está en mal estado, o que permiten la detección de patógenos en el alimento mediante biosensores.

El procesado de alimentos mediante nanotecnología ofrece beneficios como la purificación del agua mediante nanomembranas, o el refinado de aceite usado mediante un nanodispositivo catalítico.

Pueden crearse también nanoingredientes para mejorar el sabor, la textura, la consistencia o la resistencia del alimento. Por ejemplo, los granos nanométricos de sal permiten ingerir menor cantidad de sal obteniendo el mismo sabor salado. Asimismo, también pueden ingerirse vitaminas y minerales nanoencapsulados, de forma similar a los nanofármacos.



Figura 36: Nanotecnología y alimentación. Fuente: sennutricion.org

TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES

La nanotecnología permitirá la construcción de ordenadores cuánticos (basados en la denominada "electrónica orgánica"), mucho más rápidos y eficientes energéticamente que los ordenadores actuales. Del mismo modo, posibilita el diseño de dispositivos de almacenamiento de datos de menor tamaño, más rápidos y eficientes.

El empleo de nanotransistores y nanochips permiten por ejemplo el arranque casi instantáneo mediante RAM magnéticas. Nanomateriales como los puntos cuánticos se emplean actualmente en pantallas de ultraalta resolución para conseguir píxeles más brillantes.

Los nanotubos de carbono están cerca de sustituir al silicio como material para fabricar nanochips y dispositivos más pequeños, veloces y eficientes, así como nanocables cuánticos más ligeros, conductores y resistentes. Los nanochips también son empleados como sensores en ropa y dispositivos electrónicos de consumo, así como en la propia piel. También permiten aplicaciones de trazabilidad.



Figura 37: Nanotecnología y electrónica. Fuente: Pinterest

Actualmente ya se diseñan y producen pantallas flexibles, doblables, plegables y enrollables gracias al uso de nanomateriales. Uno de los usados para ello es el grafeno, con excelentes propiedades ópticas, eléctricas, térmicas y mecánicas, es un nanomaterial bidimensional de 1 átomo de carbono de espesor que ha revolucionado la investigación de materiales. 200 veces más resistente que el acero, y 5 veces más ligero que el aluminio. Se emplea para ello una lámina de grafeno sobre un material polimérico, tales que logran un enfriamiento efectivo del dispositivo.

Un material más duro aún que el grafeno es el borofeno, descubierto en 2015, y consistente en un gas caliente de átomos de boro se condensa en una superficie fría de plata. El boro es un semiconductor, que puede volverse aislante o conductor variando presión y temperatura.

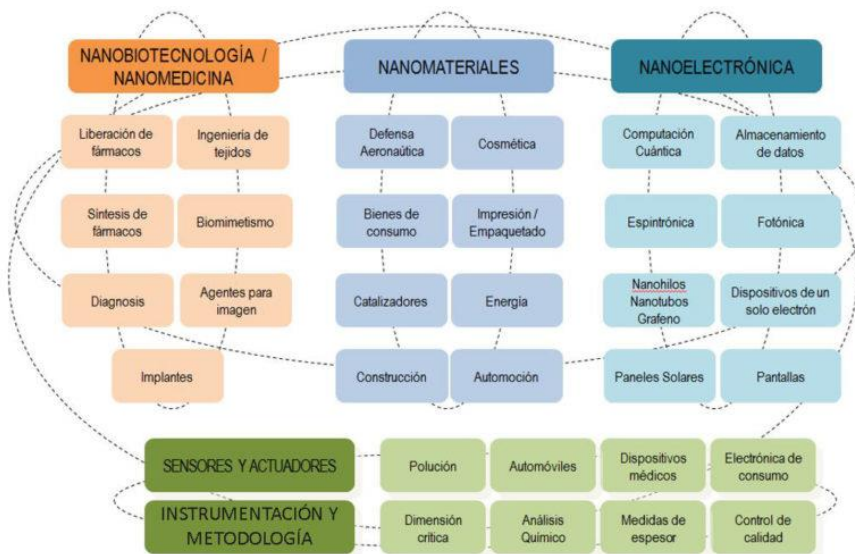


Figura 38: Relación entre aplicaciones de la nanotecnología. Fuente: Fundación Phantoms

TRANSPORTE

Uno de los sectores en los que la nanotecnología ha avanzado más hasta la fecha es el del automóvil. Prácticamente cualquier parte imaginable de un vehículo ha sido ya optimizada con nanotecnologías. Así, las nanopartículas pueden emplearse para aumentar la seguridad de los automóviles, mejorando la adherencia de los neumáticos, o la rigidez del chasis, o eliminando deslumbramientos y empañamientos en cristales y cuadros de mando.

El uso de nanopartículas para disminuir el peso de la carrocería permite a su vez un ahorro de combustible y una gestión más eficiente de éste. También se consigue mediante nanotecnología el incremento de la vida útil de las baterías, el empleo de vidrios hidrofóbicos y autolimpiantes, el uso de pinturas anticorrosivas (mediante óxido de silicio), una mayor resistencia técnica (mediante nanoarcillas) y una menor ductilidad (mediante alúmina).

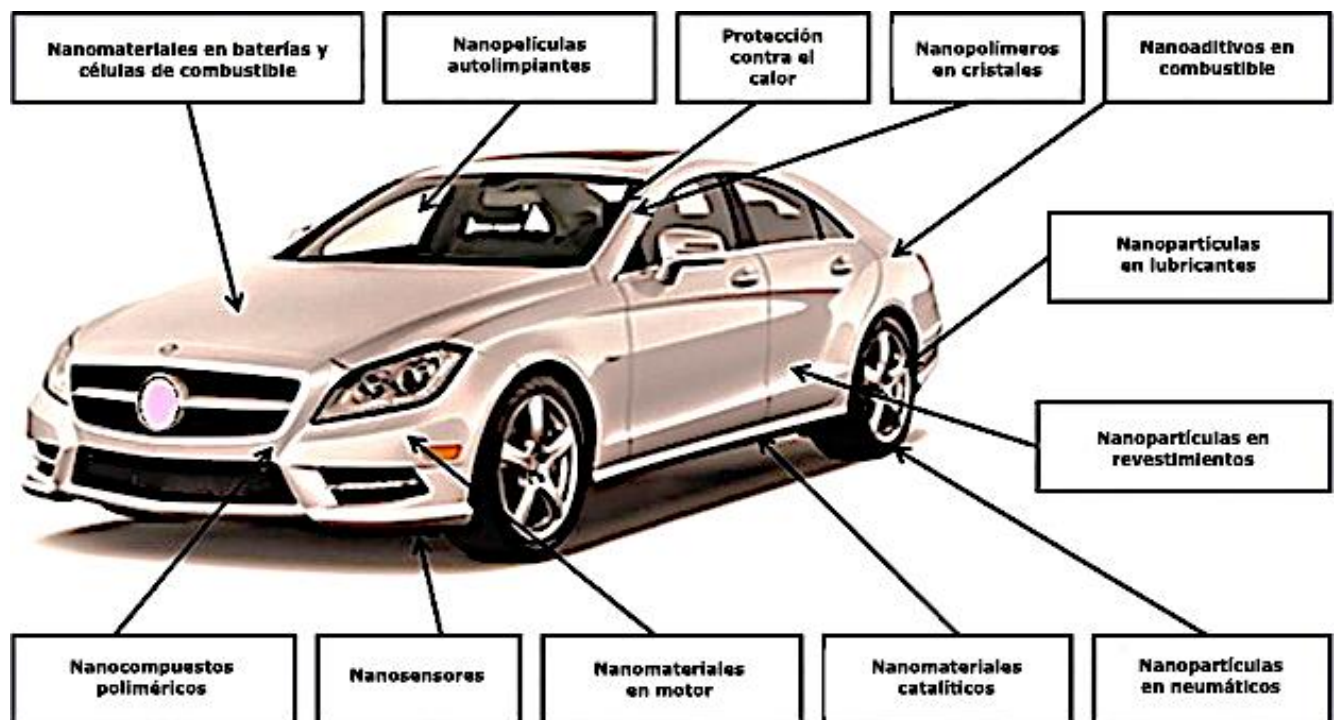


Figura 39: Nanotecnología y transporte. Fuente: modificado de sciencedirect.com

Las técnicas de nanotecnología aplicadas a los coches son también extrapolables a otros medios de transporte: barcos, trenes, aviones y naves espaciales, consiguiéndose vehículos más ligeros, eficientes, durables, económicos, sostenibles, seguros e inteligentes.

AGRICULTURA Y GANADERÍA

Mediante la nanotecnología se elaboran plaguicidas, pesticidas y fertilizantes de bioquímica controlada, que permiten la mejora de los suelos de cultivo. Se emplean también nanosensores en la detección de aguas subterráneas y de concentración de nutrientes. Se usa también para control de plagas, incremento de producción, y resistencia al cambio climático.

Las nanopartículas en agricultura se administran por dos vías: aspersión, y mezcla con el suelo. Los nanopesticidas suelen ser partículas nanometálicas, y los nanofertilizantes son nanopartículas de fósforo encapsulados con polímeros.

Las nanopartículas se emplean también en ganadería para la fabricación de vacunas y fármacos para el ganado, así como para la producción de nanosensores que detecten enfermedades y parásitos. También puede emplearse para la mejora de producción (por ejemplo, vacas con más leche y más carne), con todas las consideraciones éticas y morales que implica la biotecnología.

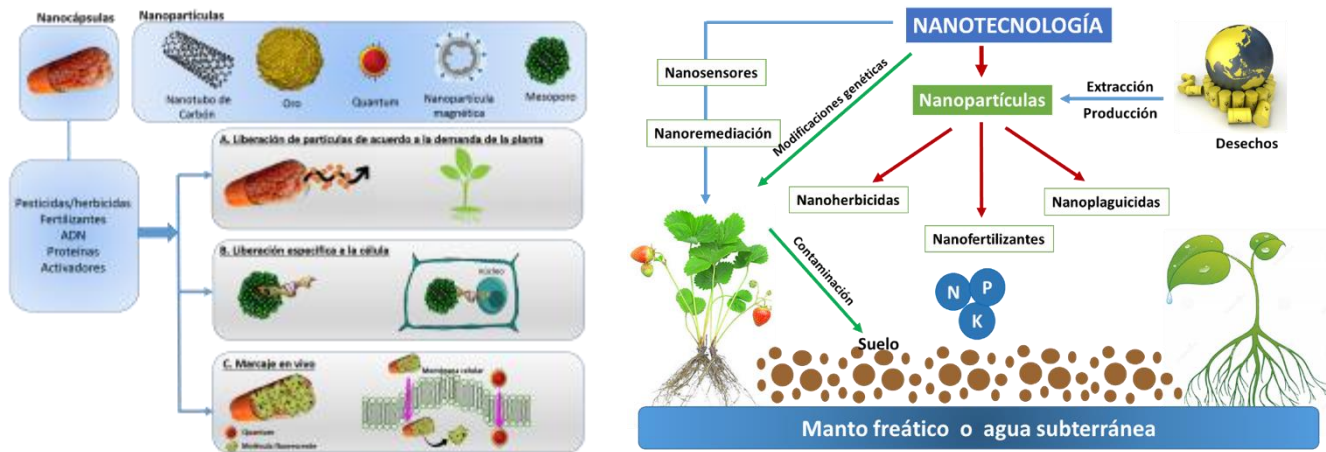


Figura 40: Nanotecnología y agricultura. Fuente: modificado de sciencedirect.com

INGENIERÍA DE MATERIALES

Las nanopartículas permiten la creación de superficies y sistemas más fuertes, ligeros, limpios e inteligentes. En la ciencia de los materiales, las nanopartículas permiten la fabricación de productos con propiedades mecánicas nuevas, incluso en términos de superficie de rozamiento, de resistencia al desgaste y de adherencia.

Los nanomateriales se pueden encontrar en muchos materiales de construcción ordinarios y productos como el cemento, mortero y hormigón, pinturas, revestimientos, materiales aislantes y vidrio. Pueden contribuir a la reducción de peso o funcionalidades mejoradas, como una mayor durabilidad, resistencia al fuego, estabilidad térmica, autolimpieza y/o propiedades fotocatalíticas.

Con propiedades mejoradas sobre los materiales convencionales, pueden aumentar la eficiencia energética (en fabricación y uso) y ayudar en aspectos ambientales y de seguridad.

PRODUCTOS DE CONSUMO

Las nanopartículas hacen posible la creación de superficies y sistemas más fuertes, ligeros, limpios e inteligentes. Por ejemplo, se emplean en la producción de lentes que no se rayan, pinturas anti-grietas, revestimientos antigrafiti en muros, protectores solares transparentes, etc.

Ejemplos de productos cotidianos en los que se emplea la nanotecnología son:

- Tiritas y vendas:
 - Incluyen una nanocapa de plata, que ayuda a aumentar el área de contacto con la piel, y con ello, su acción antibactericida.
- Pasta dental:
 - Disponen de un agente (nanocompuesto de hidroxiapatita, una capa de fosfato de calcio cristalino) que ayuda en la longevidad dental, llenando las pequeñas cavidades de los dientes y evitando grietas.
- Pinturas para coches:
 - Las nanopartículas empleadas en nanopinturas y recubrimientos tienen propiedades metabólicas, y se encuentran en forma líquida o sólida, empleándose para proteger, sellar o colorear las superficies.
- Pelotas y raquetas de tenis:
 - La nanotecnología blindo los núcleos de las pelotas de tenis, haciéndolas más duraderas y eficientes evitando fugas de aire, y añade control y potencia a las raquetas agregando nanotubos de carbono a los marcos, de forma similar a su empleo en los palos de golf para mejorar el golpe.
- Botellas:
 - Muchas botellas de bebida están hechas con plásticos que contienen nanocapas, aumentando la resistencia a la permeación del oxígeno, el dióxido de carbono y la humedad, reteniendo la carbonatación y la presión, y aumentando la vida útil en almacenamiento.

- **Cosméticos:**
 - Liposomas y niosomas se usan como cápsulas transportadoras y liberadoras de vitaminas y antioxidantes: antienvjecimiento, despigmentantes, antiestrías, anticelulitis. Se emplean con frecuencia óxido de zinc y óxido de titanio a nanoescala.
- **Preservativos:**
 - La nanotecnología añade una espuma de nanopartículas de plata que ayuda a destruir las bacterias, impidiendo la diseminación de enfermedades de transmisión sexual.
- **Protectores solares:**
 - Las nanopartículas de los protectores absorben la luz de manera efectiva, incluyendo la gama ultravioleta más peligrosa, y también se extienden más fácilmente sobre la piel. Estas mismas nanopartículas se emplean en el envasado de alimentos, para reducir su exposición a rayos ultravioleta y prolongar su vida útil.
- **Parachoques de automóviles:**
 - Un nanocompuesto plástico hace a los parachoques más resistentes y ligeros, al tiempo que se ahorra en combustible. Esta misma técnica está en estudio por agencias espaciales para el envío de naves al espacio.
- **Secadores de pelo:**
 - Un revestimiento de nanopartículas de plata actúa de bactericida en el interior del secador, ayudando a mantener el cabello libre de bacterias y otras impurezas.
- **Filtros de agua:**
 - Los filtros de agua de sólo 15-20 nm de ancho pueden eliminar partículas de tamaño nanométrico, incluidos prácticamente todos los virus y bacterias. Estos sistemas de tratamiento de agua portátiles y rentables son ideales para la mejora de la calidad del agua potable en países emergentes.
- **Telas:**
 - Las nanopartículas o nanofibras en las telas pueden mejorar la resistencia a las manchas, al agua y a la llama, sin que aumente el peso, el grosor o la rigidez de la tela.
- **Filtros para vehículos:**
 - Los nanofiltros actúan mejorando la eficiencia del combustible en el coche, excluyendo partículas del aire. A su vez, las partes del coche elaboradas con nanocompuestos son más ligeras y resistentes a los efectos producidos por compuestos químicos.

RIESGOS POTENCIALES DE LA NANOTECNOLOGÍA

La nanotecnología dispone de un amplísimo conjunto de beneficios y aplicaciones, abriendo un horizonte científico de casi infinitas posibilidades que repercutirá positivamente en todos los ámbitos de la sociedad. Pero no está exenta de riesgos.

Un uso incontrolado, equivocado, o malicioso, puede generar muchos problemas para la humanidad, e incluso, en los escenarios más apocalípticos, acabar con la civilización. Para poder disfrutar de los enormes beneficios de la nanotecnología, es imprescindible afrontar y resolver los riesgos que primero deben comprenderse, y luego desarrollar planes de acción para prevenirlos.

Entre los principales riesgos de la nanotecnología pueden citarse:

- Riesgos para la salud del ser humano y de otras especies.
- Riesgos medioambientales.
- Riesgos derivados de la falta de normativa jurídica, y de su opuesto, el excesivo control.
- Potenciales efectos negativos en la economía y el mundo empresarial.
- Potenciales alteraciones políticas y sociales.
- Potenciales carreras armamentísticas y de acaparamiento de poder.

RIESGOS PARA LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE

Los nanomateriales manufacturados tienen propiedades y efectos muy diferentes a las de los mismos materiales en tamaños convencionales, lo que puede plantear nuevos riesgos para la salud del ser humano y de otras especies, así como para el medio ambiente, siendo necesario por tanto evaluar los riesgos de estos nuevos materiales.

Así, es posible que los mecanismos de defensa del hombre no consigan reaccionar adecuadamente ante la presencia de dichas partículas manufacturadas, que poseen características completamente desconocidas para estos mecanismos de defensa. Igualmente, las nanopartículas podrían además propagarse y persistir en el entorno, con el consiguiente impacto para el medio ambiente, en el que también existe un riesgo potencial de sobreexplotación.

Algunas nanopartículas tienen dimensiones similares a determinadas moléculas biológicas, pudiendo interactuar con ellas. Igualmente, pueden moverse dentro del cuerpo humano, atravesar membranas celulares, pasar a la sangre, al cerebro, o al aparato respiratorio, y entrar en órganos vitales. Algunas de las nanopartículas, como las insolubles, pueden incluso permanecer en el cuerpo largos períodos de tiempo.

Existen tres vías principales de exposición humana a las nanopartículas: inhalatoria, digestiva y dérmica. La vía inhalatoria ocurre en los ambientes ocupacionales donde se manufacturan los nanomateriales o donde se usan para fabricar productos que los contienen. La vía digestiva ocurre mediante el consumo de alimentos, pastas dentales o medicamentos. La vía dérmica ocurre mediante el uso de productos cosméticos o por exposición ocupacional.

La inhalación es actualmente la vía principal de exposición humana a las nanopartículas. No existe aún consenso sobre qué parámetros son los más adecuados para medir esta exposición. En algunos casos, la inhalación de nanopartículas es cotidiana, como las nanopartículas presentes en el aire ambiente procedente del humo de los motores diésel (principal fuente de nanopartículas en las zonas urbanas). Por otro lado, al inhalar, existe también la posibilidad de que partículas que resultan inocuas en tamaño convencional, resulten tóxicas en nanoescala. En cuanto a las vías digestiva y dérmica, sus riesgos y potenciales efectos se conocen aún menos que con la vía inhalatoria.

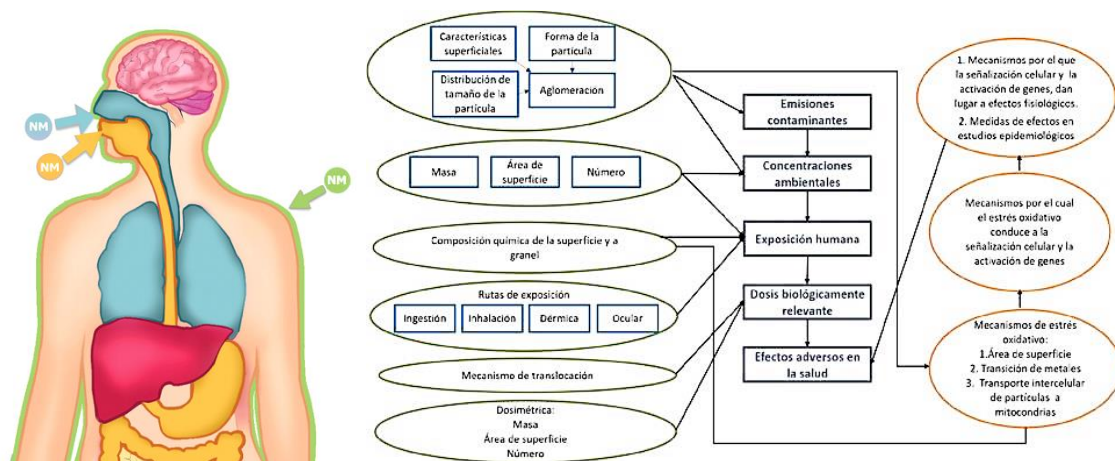


Figura 41: Riesgos sanitarios y medioambientales. Fuente: scielo.org.mx

La detección de nanopartículas en cualquiera de sus estados (sólido, líquido, gaseoso) es una tarea compleja, siendo solo detectables por nanoscopios (microscopios electrónicos que visualizan en el rango de los nanómetros). Además, existe aún muy poca información sobre el comportamiento de las nanopartículas en el cuerpo humano y de su efecto en el medio ambiente.

En las últimas dos décadas se ha experimentado un tremendo auge en la investigación y producción de bienes de consumo que incluyen nanomateriales. Sin embargo, este crecimiento debe acompañarse de un estudio más amplio sobre los riesgos e impactos que estos nanomateriales pueden causar al ser humano. Esto es especialmente importante en alimentos, cosméticos y fármacos.

Deben además desarrollarse estándares de calidad para la fabricación, uso, reciclaje y descontaminación de nanoobjetos. En la toxicidad del nanomaterial influyen múltiples variables: forma, tamaño, estructura cristalina, área, carga superficial, método de fabricación, etc. Las sustancias se vuelven más reactivas a medida que sus partículas empequeñecen. Esto sucede porque su área de superficie es mayor con relación a su volumen, proporcionando un área de contacto mayor en la que puede haber reacciones químicas.

Del estudio de los niveles de toxicidad asociados a los nanomateriales se encarga la nanotoxicología, disciplina a la que, si bien cada vez se le da mayor importancia, aún le queda un largo camino por recorrer.

Existen muchas lagunas de conocimiento sobre los riesgos y efectos de los nanomateriales en la salud y sobre el medio ambiente. Por ejemplo, sobre el punto concreto (el tamaño) en el que las propiedades convencionales dan paso a las nuevas propiedades del material, así como sobre la interacción de las nanoestructuras con el medio natural.

El medio ambiente puede verse afectado, además de por el efecto negativo de las propias nanopartículas, también por los procesos de producción de las mismas, que en algunos casos son altamente contaminantes. Asimismo, un medio ambiente alterado negativamente por nanomateriales afecta también a los todos los seres vivos de su ecosistema.

El medio ambiente puede verse afectado por nanopartículas en suspensión (transportadas por aire) o en deposición (por lluvia). Pueden encontrarse en suelos, nubes o mares, y pueden proceder de los residuos generados por nanofábricas o existir como tales en la naturaleza.

A la hora de evaluar los riesgos derivados de las nanopartículas o de los productos que las incorporan, es necesario determinar con claridad sus propiedades físicas y químicas, el uso que se pretende dar, la cantidad que se fabricará, los escenarios probables de exposición y la capacidad de acumulación en el cuerpo y en el medio ambiente.

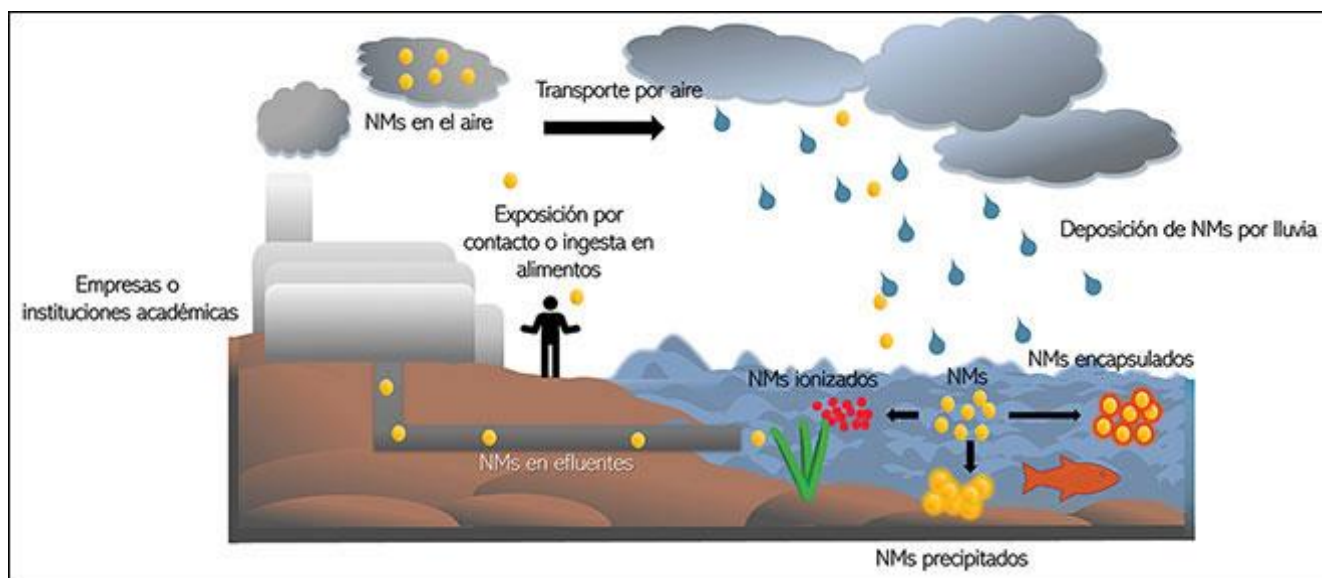


Figura 42: Liberación y exposición de nanomateriales al medio ambiente. Fuente: elementos.buap.mx

No es posible por el momento establecer conclusiones generales sobre el riesgo que puedan aplicarse a todos los productos que incorporan nanopartículas. Por lo tanto, cada producto y proceso deberá examinarse por separado.

Antes de elaborar directrices sobre la evaluación de riesgo de las nanopartículas, es imprescindible subsanar muchas lagunas de conocimiento. Por ejemplo, en lo relativo al comportamiento de las nanopartículas en el cuerpo y en el medio ambiente, así como la exposición a dichas nanopartículas. La identificación y resolución de estas lagunas de conocimiento requerirá cooperación internacional y colaboración con la industria.

Todavía se necesitan más datos y conocimiento sobre las características de las nanopartículas, su detección y medición, su comportamiento en sistemas vivos y todo tipo de cuestiones relacionadas con sus potenciales efectos perjudiciales sobre el hombre y el medio ambiente, y estas lagunas impiden que se pueda llevar a cabo una adecuada evaluación del riesgo para el hombre y los ecosistemas.

EFFECTOS ECONÓMICOS, POLÍTICOS Y SOCIALES

El bajo coste de la producción de nanomateriales, nanoartefactos y nanosistemas, así como la posibilidad de obtener fácilmente duplicidad de diseños, puede derivar en un cambio drástico en los modelos de producción, existiendo un potencial riesgo de desequilibrio económico (debido a la proliferación de productos baratos), e incluso a una opresión económica (debido a los precios inflados de forma artificial). Todo ello puede, a su vez, provocar un aumento masivo en el consumo de recursos, lo que tiene también consecuencias negativas en el medio ambiente.

El impacto potencial de la nanotecnología molecular se dice que es comparable con el de la Revolución Industrial, pero con una diferencia sustancial: en el caso de la tecnología, el impacto se notará en muy pocos años. Algunos avances nanotecnológicos pueden ser de tal magnitud que los gobiernos y empresas que tengan su control pueden acaparar unas cuotas de poder hasta ahora desconocidas, pudiendo llegar a producirse cambios en la estructura de la sociedad y en sistemas políticos.

Podrían así, por ejemplo, producirse desequilibrios sociales por nuevos productos o formas de vida, o incluso pérdida de libertades personales o sociales por restricciones normativas excesivas, que además favorecería la existencia de un mercado negro de nanotecnología.

Dentro de los peligros de acaparamiento de poder, existe además el riesgo de afloramiento de una nueva carrera armamentística (armas biológicas, nuevos materiales en material bélico, ejércitos de nanobots, espionaje). La producción de armas y aparatos de espionaje podría tener un coste mucho más bajo que el actual siendo además los productos más pequeños, potentes y numerosos.

Al igual que ocurre con otras tecnologías potentes e innovadoras como la inteligencia artificial, existe el riesgo de que la capacidad de fabricar y emplear nanotecnología caiga en las manos equivocadas, favoreciendo actividades ilegales, criminales o terroristas. Además, la combinación de biotecnología y nanotecnología implicará importantes riesgos éticos y biológicos, que, nuevamente, deberá estar regulada y caer en las manos adecuadas.

Algunos expertos contemplan también potenciales riesgos existenciales, que podrían dar lugar al apocalipsis, es decir que podrían amenazar la continuidad de la humanidad, si la nanotecnología no es completamente dominada por el ser humano. Esto es descrito por Drexler como la "plaga gris" en su libro de 1986, de manera que unos ensambladores (nanomáquinas) autorreplicantes no controlados adecuadamente pueden eventualmente hacerse con el poder y aniquilar la raza humana.

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

- <http://copublications.greenfacts.org/es/nanotecnologias/index.htm>
- http://ec.europa.eu/research/leaflets/nanotechnology/index_es.html
- <http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia.htm>
- <http://www.nanoacademia.com>
- <https://cinn.es/>
- <https://nanohub.org>
- <https://nanotecnologo.com/>
- <https://tecnologia.net/que-es-la-nanotecnologia/>
- <https://www.nano.gov>
- <https://www.nanospain.org/>
- <https://www.nanotec.es/nanotecnologia/>
- <https://www.scielo.org.mx/>
- <https://www.wikipedia.es>
- <https://youtu.be/fqyjpAOMngQ>