

NANOTECNOLOGÍA: COMUNICANDO UN CONCEPTO NUEVO

Oscar Robles-Vázquez y Elena Hernández

Introducción

Para enfrentar los retos tecnológicos que surgen a partir de las demandas políticas, sociales, económicas o ecológicas, se requiere de una interacción muy cercana entre varias disciplinas científicas. Este en particular es el caso de la Nanotecnología, donde se dan situaciones sumamente complejas debido a que en la Nanotecnología participan casi todas las disciplinas de las ciencias naturales, incluyendo la medicina y la ingeniería. En nanociencia (y tecnología) desaparecen las fronteras clásicas entre la física, la química y la biología; esto hace que contemplemos con nuevos ojos a las ciencias naturales. La Nanotecnología pasa a ser entonces mucho más que una disciplina basada en productos fabricados en la nanoescala, como una simple continuación de la microtecnología. Esta descripción es demasiado simplista. Las oportunidades increíbles y las posibilidades tan vastas que ofrece la Nanotecnología la convierten de hecho en la tecnología iconográfica para este siglo[1, 2].

Nanotecnología tiene que ver con las aplicaciones emergentes de la Nanociencia. La Nanociencia estudia sistemas complejos basados en el uso de componentes con propiedades muy específicas que dependen de su tamaño. Estos sistemas con funciones muy particulares, donde las propiedades del material dependen del tamaño de sus componentes, son muy distintos de los materiales tradicionales, más simples, donde sus propiedades no dependen del tamaño de los componentes que lo conforman. Por ejemplo, sabemos que los metales nobles como el oro se comportan de la misma forma ya sea que vengan en trocitos o bien en lingotes. Sin embargo, cuando esferas pequeñísimas de oro se mezclan con otro material, se comportan de formas muy distintas a las que uno esperaría a partir de la experiencia de trabajar oro en tamaños mayores, lingotes por ejemplo. Por lo tanto, las evidencias del comportamiento de los materiales a escala nanoscópica desafía el conocimiento científico como se ha entendido tradicionalmente.

En este artículo se tratan cuestiones referentes a varios temas del dominio nano; por ejemplo, acerca de técnicas de medición en la nanoescala. Algunas formas en que se ha

dado el progreso en esta área, se consideran junto con los aspectos del descubrimiento, el invento y la aplicación, los cuales pueden ser juzgados como las acciones de los investigadores que obedecen a motivaciones y propósitos dirigidos a cubrir necesidades originadas de la modernidad. Hay diferencias notables entre la naturaleza y la tecnología o bien entre la miniaturización o el proceso contrario que es el desarrollo a gran escala. La comprensión que tenemos a partir de las disciplinas tradicionales del conocimiento se ve de pronto asediada y cuestionada por la nueva información obtenida con los microscopios de vanguardia. Esto promueve el repensamiento epistemológico y ético del carácter de la Nanotecnología como un cambio de paradigma, una aceptación de las consecuencias de la investigación en esta área y sus efectos colaterales; a cuestionar políticamente de donde vienen las motivaciones y propósitos de las investigaciones en este campo.

Enfoque

La característica fundamental de la Nanotecnología es que las fronteras entre disciplinas científicas desaparezcan; ello implica que ciertos materiales ya no se comportan del modo preestablecido. Esta situación provoca una amplia gama de interrogantes y de problemas que de ninguna manera son científicos o tecnológicos, puesto que no tienen que ver con átomos y moléculas, máquinas ni organismos, sino con el quehacer científico del ser humano como tal. En realidad este tipo de cuestiones resultan ser de naturaleza filosófica. El lenguaje en el que se plantean no se refiere a objetos inanimados de laboratorio sino a sujetos, a personas que actúan y que interactúan. Lidar con estas interrogantes y problemas es tarea de la filosofía de la ciencia, propiamente dicha, con un enfoque hacia nanociencia y nanotecnología. El pensamiento prospectivo de un científico y el pensamiento reflexivo de un filósofo pueden apoyarse mutuamente para prevenir que en este campo emergente se tomen rumbos equivocados. La contribución filosófica en si misma está obligada a ser crítica en el sentido no del lenguaje cotidiano, el típico lo acepto-no lo acepto, sino en un sentido filosófico más sofisticado, donde se promuevan distinciones conceptuales claras a partir de juicios bien fundamentados. Preguntas típicas que promuevan contribuciones más allá de lo cotidiano podrían ser:

¿Cuáles son las suposiciones tácitas y sus aspectos técnicos que entran en juego cuando se determina cuantitativamente algo “nano”? Entre las alternativas probables es necesario considerar si (a) se supone que el tamaño de los objetos define nanociencia y nanotecnología, o (b) las propiedades novedosas y sus efectos limitan el dominio nano. Por supuesto que las mediciones están a la orden del día en este campo y a su vez originan nuevas interrogantes acerca de que tan plausibles son las técnicas, los procedimientos y los instrumentos en la escala apropiada. ¿Qué determina la relación entre investigación y aplicación? Si se hace una distinción entre nanociencia y nanotecnología, es decir entre investigación básica y tecnología aplicada, el concepto de aplicación debe de ser clarificado. ¿Quién decide la intención de la aplicación y cómo influye ésta a la investigación básica?

Un cuestionamiento de importancia científica fundamental tiene que ver con investigar si de hecho hay leyes apropiadas que describan el comportamiento nano. ¿Debería la nanotecnología ser considerada de manera natural o cultural, es decir, como nuevas imágenes de la naturaleza o bien simplemente como una nueva tecnología para hacer las mismas cosas ya conocidas? La miniaturización nos llevará a descubrir nuevas leyes naturales? Otro cuestionamiento de importancia crucial es si en verdad la nanociencia y la nanotecnología representan un cambio de paradigma o simplemente son el resultado de una acumulación considerable de conocimiento.

El Término Nano como un producto lingüístico y no lingüístico del quehacer humano

Nanociencia y Nanotecnología son actividades humanas que incluyen acciones tales como producir y comunicar. Así que requieren de una breve reflexión cultural a fin de situarlas en contexto. Hablando del significado de nanotecnología, “nano” viene de la raíz griega “nanos” o sea muy pequeño, enano. Esta idea opaca el resto de la palabra que también contiene “tecnología” donde se presentan las raíces “techne” (arte hecho por el Hombre, como idea opuesta a lo hecho por la Naturaleza) y “logos” (palabra, lenguaje, tratado) la cual se deriva de “legein” (hablar, decir, leer). Por lo tanto, nanotecnología significa literalmente “tratado del dominio del arte de las cosas muy pequeñas hechas por el hombre”.

Ahora, considerando como delimitar el dominio de escala en la nanotecnología pasamos al concepto de nanómetro, es decir la millonésima parte de un milímetro. Aquí nos encontramos con situaciones técnicas de reproducibilidad de las unidades patrón: ¿qué necesito hacer para reproducir una unidad de medida y cómo es que este conocimiento depende de la medición que usa esas mismas unidades como magnitudes de referencia? Esto lamentablemente no se resuelve tomando ciertos objetos como ejemplos de tamaño, tales como moléculas, proteínas, o virus, precisamente porque ellos deben de ser medidos a priori de la comparación. El convencionalismo de establecer el nanómetro como unidad de medida depende enteramente del grado de dominio técnico de la reproducibilidad en las medidas.

Cualquiera que sea la definición de nanoescala, todavía quedan sin resolver muchos problemas técnicos, competentes al área de metrología. A fin de cuentas, ¿qué es medir? Un científico probablemente respondería: “determinar un número racional que indique la relación entre una unidad dada y el objeto medido”. Este procedimiento implica el uso de un instrumento de medida que funciona de acuerdo a leyes naturales. Los problemas de mediciones en el dominio nano surgen del hecho de que en este campo no se trabaja con leyes naturales o fenómenos naturales sino con situaciones producidas artificialmente que dependen de asuntos técnicos; de manera que es necesario considerar que tanto se pueden usar las mediciones rutinarias de laboratorio para tratar asuntos de la nanoescala.

Epistemología de Innovación y Progreso

La atención pública que la nanotecnología atrae a si misma se centra en la idea de innovación y progreso. Las novedades se suceden unas a otras. De manera permanente, el progreso tecnológico se anuncia, se estipula o se promete. Aun las formas o conceptos nuevos de innovación se tienen que presuponer a fin de comprender o de propagar a la Nanotecnología. Se habla indistintamente de inventos y de descubrimientos a pesar de que todos sabemos que a Cristóbal Colón se le conoce como un descubridor y a Tomás Alba Edison como un inventor y no al contrario. Existen diferencias muy importantes entre descubrir algo e inventarlo; por lo menos en cuanto a

patentar se refiere. La nanotecnología, tal como se encuentra hoy en día es un conglomerado complejo y desordenado de tecnologías, interrogantes, opciones, descubrimientos, progreso accidental, etc. Este conglomerado tiene que ser reestructurado y se están haciendo múltiples esfuerzos al respecto. En todo el mundo hay comités que revisan y evalúan el quehacer de la Nanotecnología y sus problemas de metrología.

Es necesario considerar otras fuentes potenciales de error. La reflexión filosófica acerca de temas de nanociencia y nanotecnología tiene que ver con entidades lingüísticas, con descripciones de desarrollo tecnológico y con descripciones técnicas no lingüísticas. Cualquier avance en una técnica establecida que ya se domina consiste básicamente en la eliminación de perturbaciones técnicas de concepto. Puesto que las ventajas de una nueva técnica comparada con una técnica obsoleta no dependen de la cancelación de las teorías que gobiernan la tecnología anterior, es necesario tener cuidado al juzgar a la nanotecnología. Por lo tanto, la claridad de los conceptos invento, descubrimiento y aplicación sigue siendo muy importante en este caso.

Descubrimientos, Inventos y Aplicaciones: Propósitos de la Nanotecnología

Existe un cliché que tiene gran influencia en el medio cuando se habla de ciencias naturales y de ingenierías: a los investigadores en las ciencias naturales y en la tecnología les encanta jugar, son muy curiosos y realizan descubrimientos solo por diversión sin poner atención a la practicalidad de sus descubrimientos. Solamente después de que se establecen esos nuevos hechos de la naturaleza, las leyes que los gobiernan y se comprenden perfectamente, entonces el asunto de buscar aplicaciones se convierte en un quehacer secundario que también realizan los investigadores. Por otra parte, un inventor es una persona que realiza una función un tanto intermedia entre el descubrimiento y la aplicación. En ocasiones a los inventos se les considera aplicaciones independientes del conocimiento de cómo funciona su naturaleza; a veces se les puede considerar como auxiliares de la investigación que se lleva a cabo en un laboratorio. Como un ejemplo concreto, consideremos que inventar nuevos tipos de microscopios en nanotecnología facilita nuevos descubrimientos en biología molecular.

De manera que regresamos a una parte crucial de esta discusión: ¿qué significa aplicar el conocimiento? Generalmente involucra una nueva interpretación de las finalidades a partir de los medios disponibles. Algo siempre termina siendo un medio para llegar a un fin. A pesar de que los términos descubrimiento e invento se utilizan frecuentemente para describir ciencia de ingeniería, no están exentos de debate cuando de nanotecnología se trata. El lenguaje cotidiano es insuficiente para atacar las cuestiones de que si los científicos en nanociencia inventan o descubren algo y si, de acuerdo a la diferencia entre Nanociencia y Nanotecnología, se puede establecer la diferencia entre descubrimiento e invento.

Lo que sucede en los laboratorios en general y en la investigación en el campo nano en particular depende de la utilización de instrumentos y aparatos de diversa índole. Instrumentos de medición solo representan una pequeña parte de ellos. Sin tecnología altamente sofisticada producida en talleres de vanguardia, la investigación científica moderna no sería posible. De manera que los descubrimientos fehacientes son solo descubiertos como sucesos, efectos, estados o propiedades de objetos manufacturados; no se refieren para nada a objetos o eventos que ocurren de manera natural. Esos objetos o eventos no están ahí a priori para ser descubiertos, como Colón descubrió América, por lo que se dice que los descubrimientos hechos en los laboratorios en realidad se refieren a procedimientos técnicos que fueron posibles. Se trata de acciones humanas, que son exitosas en la medida en que revelan eventos o estados que cumplen con las expectativas (teóricas o hipotéticas) del experimentador. De manera que el científico hace descubrimientos por medio de sus inventos.

Para resumir la discusión acerca de inventos y descubrimientos, no es el nano objeto, su estatus ontológico o sus propiedades dentro de los límites impuestos por las leyes de la Naturaleza lo que determina que se puede inventar, descubrir o aplicar. Juicios acerca de la Nanotecnología y acerca de la validez de sus teorías, su propósito y su utilidad descansan y culminan en acciones humanas. En nanotecnología, así como en la ciencia en general, los resultados deben de ser reproducibles y repetitivos a fin de considerarlos universalmente válidos; entonces no son las leyes naturales sino las habilidades culturales las que aseguran de que se domine la técnica del fenómeno nano. Nanotecnología consiste en el arte del saber hacer.

Nanotecnología: ¿Tecnología aplicada o Ciencia Básica?

Solamente cuando las acciones humanas se distinguen de sus objetos es cuando tiene sentido distinguir entre Naturaleza y Cultura (o en su caso Tecnología). Lo técnico es aquello artificial que depende de las finalidades o propósitos humanos; la cultura significa intervención humana en algunas circunstancias; lo natural es el material a partir del cual se construyen cosas. Las leyes naturales proporcionan el fundamento de la aplicación técnica. Si partículas, o polvos de partículas en la nanoescala muestran propiedades inesperadas que difieren de las propiedades del material de origen, digamos que el color o el punto de fusión cambian, entonces vale la pena investigar la sustancia original y el procedimiento de cambiarla a nano partículas. Hablando metódicamente, como primer paso uno debería de saber que una cierta pieza del material es, digamos, oro, en el sentido de oro como elemento químico Au. Entonces un proceso físico se inicia a fin de producir nanopartículas del material. Tomando el polvo como oro, aun cuando se vea y se comporte de manera muy distinta que el oro en bloque, es legítimo siempre y cuando consideremos de donde viene el polvo. El asunto acerca de cuáles métodos de identificación de sustancias con propiedades nano novedosas se pueden utilizar para obtener una nanociencia coherente y consistente con la química del oro en masa no es una cuestión fácil de responder. También, hablando desde un punto de vista metódico, los métodos comunes de espectroscopia de masas se vuelven secundarios porque debe de haber una calibración relativa a las diferencias clásicas y los métodos establecidos para identificar elementos químicos y compuestos. Lo que es impactante para un observador filosófico de la Nanociencia y la Nanotecnología tiene que ver con la confusión aparente de todos los modelos que hay para describir la realidad. No se objetan aquí los conceptos o teorías que describen desde la química o la física cuántica cosas como reacciones químicas o estabilidad de los compuestos. Sin embargo, en el quehacer rutinario, los científicos tienden a usar sus concepciones del modelo como si se ajustaran al tipo de descripción que normalmente usamos en contextos cotidianos, muy independientemente de las teorías, el modelado y cuestiones de importancia básica. También, es necesario tomar en cuenta que los nano objetos existen para los científicos en Nanotecnología gracias a los contextos teóricos. Los nano objetos no se pueden dar por hechos fuera del marco de referencia de teorías hipotéticas, decisiones metodológicas fundamentales y suposiciones que funcionen en el dominio del fenómeno que ha de modelarse.

Como un ejemplo de la controversia acerca de medir nano objetos, podemos considerar la microscopia en la nanoescala. En la experiencia cotidiana cuando queremos describir algo, lo miramos. Entonces, cuando los objetos se vuelven más y más pequeños, utilizamos lentes para generar imágenes ópticas por medio de un microscopio de luz. La idea principal es esta: cuando miramos a un objeto remoto, usamos un telescopio con el fin de que el objeto se aproxime a nosotros, al menos ópticamente. Este remedio técnico funciona de manera tal que resulta como si nosotros nos fuéramos aproximando al objeto distante. Lo mismo sucede con objetos pequeños y la microscopia de luz, donde nos imaginamos que el instrumento es el que se aproxima al objeto. De esta forma parece que distinguimos características visibles que el objeto nos proporciona; vemos sus propiedades reales en cuanto a forma, tamaño y color de la misma forma en que miramos cuando describimos objetos de tamaño común y corriente, distinguibles a simple vista. Los procedimientos de nano microscopia son distintos y no se pueden explicar de esta manera. En ellos no tenemos la transformación continua de la imagen por medio de la magnificación inmediata típica de la óptica (1:1, 1:2) o de la microscopía de luz (hasta 1:1,000,000). Estos nano objetos sencillamente no presentan las propiedades visibles del objeto en el sentido de similitudes geométricas y de una descripción realista de colores. La similitud geométrica es un concepto ideal independiente de la relación de tamaños en figuras similares. Por lo tanto, la similitud geométrica y las imágenes geométricas están restringidas a aplicaciones en objetos de la misma índole. El objeto y su imagen deben de ser sujetos a la misma descripción. Esto se parece mucho a lo que sucede en fotografía. Hablamos de una buena fotografía de, digamos una flor, si utilizamos las mismas palabras para describir a la flor real y a la flor en la fotografía. Esta es la forma lingüística de la condición que nos permite llamarle foto a la imagen de algo. Las fotos se obtienen con los distintos tipos de nano microscopia no cumplen con este criterio. Las técnicas actuales que se han utilizado hasta hoy en día (ej. microscopía de barrido de fuerza, microscopia de fuerza atómica, microscopia de barrido con efecto túnel) son métodos que producen artilugios para los cuales no solamente los principios físicos de producción de datos son diferentes, sino que los tipos de efectos entre el sensor y su objetivo también difieren. Sigue habiendo muchas interrogantes al respecto de qué tipo de presuposiciones (en algunas ocasiones dependiendo de otras teorías micro o nano) entran en juego a la hora de construir los aparatos que producen datos instantáneamente; además, de cuál es el software necesario para transformar esa información en imágenes visibles. Siempre se corre el riesgo de

obtener imágenes erróneas si las teorías que se utilizan para manipular la información del microscopio resultan tener una falsedad intrínseca.

Una situación que puede ilustrar esa problemática es la siguiente: Imaginemos que tenemos que, con los ojos vendados, describir una escultura sin utilizar nuestras manos. Podríamos utilizar una estaca, o bien cubrirnos las manos con guantes de cocina o bien de cirujano. En cada caso, la descripción de la escultura depende del uso que hagamos de los objetos que tengamos en las manos. Podemos pensar que con unos guantes de cirujano obtendríamos más detalles que con los guantes de cocina. Si decidimos utilizar la estaca podríamos deslizarla por los contornos de la escultura para adivinar su forma; alguien con buen oído podría utilizar la estaca para golpear la estatua y darse una idea de su forma por el sonido que produce. Ahora bien, cuando nos pongamos de acuerdo para describir la escultura, ¿cómo comparar los resultados que encontraron las personas que utilizaron guantes con los resultados de las personas que utilizaron una estaca? Se necesitan criterios muy firmes para traducir la información que producirá las imágenes, habrá de haber convencionalismos en cuanto a cómo describir el objeto y cuáles serán los puntos de referencia. Esta situación es una buena analogía de lo que sucede cuando se producen imágenes a partir de la nano microscopía. Suponemos que los objetos puestos al microscopio en verdad tienen las propiedades que se observaron y que se tradujeron en imágenes con el software adecuado. Sin embargo, a la fecha, siguen siendo suposiciones.

Cada vez que creemos que podemos tener imágenes de objetos como los átomos y las moléculas, se deben de suponer unas cuantas cosas, como por ejemplo que todos los átomos son iguales. Sin embargo en nanomicroscopía esto no sucede. Cuando los modelos se confunden con lo que es modelado, se pierde coherencia pragmática. A fin de enfocarnos en la comprensión del autoconocimiento y la autodefinición que un científico de nanociencias debe tener presente a la hora de distinguir entre su trabajo científico y la divulgación pública de su trabajo, es necesario reflexionar en lo siguiente: Técnicas de miniaturización y de construcción a partir de átomos individuales son reales y exitosas, han dado un enorme aire de progreso a la tecnología. Este progreso no debería de tomarse como un cambio de paradigma puesto que se lleva a cabo sin ruptura o choque con los propósitos superiores de las ciencias naturales. Los

científicos no se sienten obligados a elegir bando, por ejemplo ni las leyes clásicas o cuánticas de la química se han derrumbado por la aparición de la nanociencia; únicamente el enfoque es lo que ha cambiado, admitiendo que ocurren fenómenos desconocidos en la escala nanoscópica. Nanociencia y Nanotecnología son productos de acciones humanas del tipo racional, donde se da la relación entre medio para alcanzar algo y finalidad. Por lo tanto, por dichas acciones se puede imputar responsabilidad a sus actores. Sin embargo, a la gente se le puede hacer responsable por las consecuencias que pueden, de manera razonable, ser anticipadas, supuestas o sospechadas, por lo que comprender la nanociencia y la nanotecnología como productos de acciones humanas no solo es asunto de filosofía académica sino también una fuente importante de reclamos a los cuales los científicos pueden llegar a enfrentarse.

Al ser resultado del quehacer humano, está sujeto al escrutinio público. Uno se pregunta ¿de dónde vienen las intenciones y los propósitos de la investigación? ¿Quién decide acerca de ellos? ¿cómo saber si son legítimos? ¿hay autoridades que impulsen y motiven programas? Todo tiene que ver con la dialéctica entre el fin y los medios para llegar a él. Tratar determinados problemas de la ciencia persiguiendo ciertas aspiraciones y ofreciendo ciertos medios para resolver los problemas, siempre tiene un efecto en las aspiraciones mismas y resulta en una modificación o reinterpretación de lo que los medios para alcanzar el fin resultan ser. Por lo tanto, los fines, aspiraciones y propósitos en sí mismos deberían de desarrollarse en el seno de procesos políticos y sociales. Los científicos y los expertos deberían de ser invitados a tales procesos y ellos están obligados a contribuir.

A modo de conclusión es importante recordar que el quehacer científico que lleva a cumplir un determinado propósito está ligado a una habilidad especial, no solamente a un objeto o tamaño en particular. El tamaño es una propiedad circunstancial o cuando mucho una propiedad que se obtiene a partir de un instrumento. Esta es la razón por la cual la nanotecnología se define a partir de nuevas funciones que pueden ser utilizadas como nuevos medios para alcanzar fines establecidos o que se pueden establecer únicamente a partir de esas nuevas funciones que se tienen a la mano. Al respecto de las muchas definiciones que de nanotecnología existen, el alcance que delimita la nanotecnología, en el sentido más estricto es el de capturar la esencia de una tecnología que se basa en nuevas funciones.

La cuestión de que si la nanotecnología se encuentra ligada a una escala en particular, la nanoescala, es simplemente una cuestión empírica. De hecho, uno puede encontrar efectos que se presentan dentro del intervalo entre 0.1 nm y 100 nm que no satisfacen la definición y efectos que ocurren arriba de 100 nm incluso 1000 nm que si demuestran esas propiedades que dependen del tamaño[3]. Dentro de las propiedades típicas de los materiales se encuentran las magnéticas, mecánicas, electrónicas, ópticas, térmicas, termodinámicas, de autoensamblaje y de reconocimiento. La dependencia particular de estas propiedades con el tamaño resulta evidente cuando :

1. no siguen las leyes físicas sino las cuánticas;
2. se ven dominadas por efectos de interface entre partículas;
3. exhiben propiedades basadas en un número muy limitado de componentes constituyentes; ya que por lo regular, al hablar de un material se dice de aquel que tiene un número infinito de componentes que lo constituyen (átomos, moléculas) que se comportan de manera estadística.

Para finalizar, es importante recordar que las propiedades nanoscópicas no tienen equivalente en el mundo macroscópico.

Referencias

- [1] G. Schmid, K. Mader, F. Wutscher, in *Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung*, Vol. 27 (Ed.: C. F. Gethmann), Springer-Verlag, Berlin, **2006**.
- [2] B. Bushan, in *Handbook of Nanotechnology* (Ed.: B. Bushan), Springer, Berlin, **2004**.
- [3] G. Schmid, M. Decker, H. Ernest, H. Fuchs, W. Grunwald, A. Grunwald, H. Hofmann, M. Mayor, W. Rathgeber, U. Simon, D. Wyrwa, in *Éticas de Ciencia y Tecnología*, Vol. 35 (Ed.: A. Europea), Springer, Bad-Neuenahr-Ahrweiler, **2003**.

[Oscar Robles-Vazquez y Elena Hernandez](#)

Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Guadalajara, México.