

BREVE ESTUDIO DE LAS IMPLICACIONES SOCIALES DE LA NANO-CIENCIA Y LA NANO-TECNOLOGÍA

Arezky Hernández

Introducción

Una nueva revolución científica está ocurriendo en la ciencia y la tecnología. Esta revolución está originada en el desarrollo reciente de las capacidades para medir, manipular y organizarla materia en la nano-escala (de 1 a 100 mil millonésimas parte de un metro, es decir, un nanómetro es 10^{-9} metro). En la nano-escala, la física, la química, la biología, la ciencia de los materiales y la ingeniería convergen hacia los mismos principios y herramientas. Es por esto que se espera que la investigación en la nano-ciencia tenga un fuerte impacto en la humanidad. Es necesario destacar qué es lo nuevo en la nano-tecnología. Ante la pregunta de “¿qué es lo que los nano-tecnólogos van a construir?”, la respuesta más común es “cosas a escala nanométrica”. Sin embargo, esta no es una respuesta completa. Los químicos han estado sintetizando complejas moléculas por cerca de dos siglos. Los científicos de ciencia de materiales han estado creciendo cristales semiconductores con precisión de una capa atómica en las últimas décadas. Para poder clasificar a los nuevos científicos en esta nueva disciplina, la nano-tecnología tiene que ser algo más que la capacidad de construir cosas con una precisión atómica. La nano-escala no es otro paso hacia la miniaturización, sino que es cualitativamente una nueva escala. La ciencia a escala atómica es la base para conocer cómo el mundo funciona. Pueden existir muchos niveles de escalas inferiores al átomo, pero a los efectos prácticos (el diseño de materiales con nuevas estructuras) el átomo es un elemento base excelente. Su comportamiento es descrito por la mecánica cuántica, el confinamiento en pequeñísimas estructuras, grandes interfases en comparación con el tamaño del material y otras propiedades, fenómenos y procesos únicos. La nano-ciencia se desarrolla en gran cantidad de centros de investigación a lo largo del mundo, lo que conduce a avances científicos fundamentales. A su vez, este proceso conducirá a un cambio dramático en la forma en que los materiales, herramientas y sistemas son comprendidos y creados. Se lograrán nuevas propiedades y funciones en la nano-escala a través del control de la materia y los ladrillos que la conforman: átomo por átomo, molécula por molécula y nano-estructura por nano-estructura. La nano-tecnología logrará la integración de dichas estructuras nanoscópicas dentro de los componentes

materiales de sistemas y arquitecturas electrónicas. Sin embargo, dentro de estos sistemas de mayor escala, el control y su construcción permanecerán siendo esencialmente en la nano-escala. Hoy en día, la nano-tecnología está aún en su infancia. Las nano-estructuras que actualmente se crean son aun rudimentarias, comparadas con lo que se espera lograr en el futuro. Sin embargo, se prevé un incremento en la eficiencia de las computadoras de varios órdenes de magnitud, la restauración de órganos humanos usando esta nueva ingeniería, diseño de nuevos materiales creados directamente mediante el ensamblaje de átomos y moléculas así como el surgimiento de fenómenos completamente nuevos en química y en física. La nano-tecnología ha capturado la imaginación de científicos, ingenieros y economistas no sólo debido a la explosión de nuevos conocimientos en la nanoescala, sino también debido a sus potenciales implicaciones sociales.

La relevancia de la nano-tecnología está acentuada por su importancia en el control de la materia en la nano-escala con vistas a su utilización en áreas como los nuevos materiales y su manufactura, la medicina y el cuidado de la salud humana, el cuidado del medio ambiente y la utilización de nuevas fuentes de energía, la biotecnología y la agricultura, la electrónica y la tecnología de la información, etc. Los efectos de la nano-tecnología en la salud, la economía y el nivel de vida para las personas en este siglo pueden ser al menos tan significativos como los efectos combinados de la microelectrónica, las imágenes en la medicina, la ingeniería de las computadoras y la creación de polímeros del pasado siglo.

No existe entonces en la actualidad ninguna duda de que las implicaciones que tendrá la revolución de la nano-ciencia y la nano-tecnología en la sociedad serán muy profundas. Es por todo esto que se hace necesario coordinar esfuerzos para el estudio de los efectos que la nano-tecnología tendrá en la sociedad. Estos efectos pueden ser legales, éticos, sociales, económicos, sobre la preparación de la fuerza de trabajo, etc. Estos estudios ayudarían a identificar los problemas potenciales que puedan surgir y los caminos adecuados para su canalización o solución. La necesidad de este estudio se ve reforzada por el hecho de que la revolución científica de la nano-tecnología no se está dando de forma aislada. La revolución nano-tecnológica recién comienza, pero tiene como telón de fondo la revolución de la información que comenzó en los años cuarenta a partir de la creación de la primera computadora. Dicha revolución informática está a mediados de

su desarrollo. Más recientemente ha comenzado la revolución en la biología. La interacción de estas tres revoluciones científicas es lo que se ha dado en llamar “Edad de Transición”, donde la superposición del desarrollo de estas tres ramas del conocimiento hacen aún más interesante, compleja y necesaria la preparación para el estudio de sus impactos sociales. Como dato importante para reafirmar lo anteriormente expuesto se puede decir que según el Centro Nacional de Investigaciones de Francia, hoy no se conocen el 60% de las profesiones que existirán en el presente siglo XXI y se pronostica una inminente revolución en las familias de profesiones y las estructuras institucionales que las soportan. El objetivo del presente trabajo consiste en intentar explicar qué es la nano-tecnología, ejemplificar sus posibles impactos en la sociedad y analizar el papel que juega la presente revolución nano-tecnológica dentro de la integración vertical y horizontal de la ciencia.

Objetivos de la nano-tecnología

La ciencia y la tecnología de la nano-escala conducirán a un mejor conocimiento de la naturaleza, a cambios significativos en la industria manufacturera, la economía, la atención a la salud, al control medio ambiental y el desarrollo sustentable. Ejemplos son los siguientes:

- **Industria manufacturera:** Se espera que la escala nano-métrica se convierta en una escala muy eficiente para la manufactura cuando la nano-ciencia aporte el conocimiento y la nano-ingeniería aporte las herramientas. Serán producidos nuevos materiales con propiedades y funciones innovadoras que la química tradicional no ha podido crear.
- **Electrónica:** La nano-tecnología contribuirá a un desarrollo sustancial y a un incremento cualitativo de la industria de semiconductores y de circuitos integrados en los próximos 10 a 15 años. La utilización de las computadoras es el elemento clave de la revolución de la informática. Para tener una idea de la velocidad de desarrollo de esta rama de la ciencia podemos decir que la primera computadora con un transistor fue construida en 1955 y tenía solamente 800 transistores. Sin embargo, el micro de la Pentium II contiene 7.5 millones de transistores, el micro de la Pentium III contiene 29 millones de transistores y se espera que en los próximos años los microprocesadores de las computadoras llegarán a tener más de 1000 millones de transistores. La razón de

cambio de este desarrollo de los computadores es gigantesco y sus implicaciones son enormes.

- Cuidado de la salud: La nano-tecnología ayudará a prolongar y mejorar la calidad de la vida, así como extender las capacidades del ser humano.
- Industria farmacéutica: Cerca de la mitad de toda la producción dependerá de la nanotecnología.
- Plantas químicas: El desarrollo de procesos de catálisis a nivel de la nano-escala tiene grandes aplicaciones en la industria del petróleo y de los procesos químicos industriales.
- Transportación: La ciencia de los nano-materiales y la nano-electrónica conducirán a vehículos más ligeros, más rápidos y seguros con mayor duración, confiabilidad, mayor eficiencia de transportación, carga, etc.
- Desarrollo sustentable: La nano-tecnología desarrollará la agricultura con vistas a satisfacer las necesidades de una población mayor, proveerá procesos de desalinización y filtrado del agua más económicos. También se desarrollará el aprovechamiento de fuentes alternativas de energía como la conversión de la energía solar, disminuirá la necesidad de búsqueda de fuentes de materiales costosos y poco abundantes y disminuirá la contaminación por materiales contaminantes. Por ejemplo, diferentes proyecciones indican que en los próximos 10 a 15 años el desarrollo de la nano-tecnología de consumo de electricidad tendrá el potencial para reducir el consumo planetario de la energía con dichos fines en más de un 10%, con el correspondiente ahorro a la economía y reducción de 200 millones de toneladas de emisiones de carbono a la atmósfera.

Conocimiento y comprensión científica del medio ambiente

El estudio de sistemas nanoscópicos promete conducir a nuevos avances fundamentales en la ciencia y la ingeniería. Igualmente incrementará nuestro conocimiento de la biología y las características medio ambientales de los ecosistemas de nuestro planeta. También propiciará investigaciones más genéricas e interdisciplinarias. La nano-ciencia está en la frontera de la ciencia y la ingeniería y ofrece así uno de las oportunidades más excitantes para la innovación tecnológica. La nano-tecnología proporcionará la

capacidad para crear productos económicos con dramáticas mejoras en su funcionamiento. Esto será posible gracias al conocimiento de las formas de controlar y manipular la materia a escala nanoscópica y por la incorporación de las nano-estructuras y los nano-procesos a las innovaciones tecnológicas. Se convertirá así en el centro de una competencia internacional debido a sus promesas de generar nuevas tecnologías.

La nano-tecnología promete ser una fuerza dominante en las sociedades desarrolladas en las próximas décadas. El desarrollo de los discos duros, de los procesos de cubrimientos protectores, la fotografía y la industria farmacéutica han mostrado cómo los nuevos descubrimientos científicos pueden cambiar los paradigmas de producción y revolucionar las ganancias comerciales. Sin embargo, todavía hay formidables desafíos que aguardan para la comprensión fundamental de los sistemas a dicha escala, antes de que el potencial de la nanotecnología se pueda manifestar. Ya están suficientemente establecidas la ciencia del átomo y simples moléculas, al igual que la ciencia de la materia desde microestructuras (10^{-6} metros) hasta grandes escalas. El espacio de las escalas comprendidas entre estos dos valores es el espacio de la nano-escala donde se manifiestan las propiedades fundamentales de los materiales que pueden ser utilizadas para el diseño y construcción de aquellos que, por sus propiedades, sean de gran utilidad. Sistemas de organización de la materia recientemente descubiertos (como son los nano-tubos de carbono, los motores moleculares, los ensamblajes con ADN, los puntos cuánticos y los interruptores moleculares) y nuevos fenómenos (como son la magnetoresistencia gigante, el bloqueo de Coulomb y otros causados por el confinamiento espacial en la nano-escala) son los pilares sobre los cuales se levantan las futuras posibilidades de desarrollo. La nano-tecnología será así un componente esencial para la comprensión de la naturaleza en las próximas décadas.

La industria manufacturera de materiales y productos

La nano-tecnología está cambiando fundamentalmente el modo en que los materiales y equipos se producirán en el futuro. La habilidad para sintetizar los ladrillos nanoscópicos de un tamaño y composición controlados de forma precisa y luego ensamblados en largas estructuras con propiedades y funciones únicas revolucionará la industria de materiales y manufacturera. Los investigadores serán capaces de desarrollar materiales que no se encontraban anteriormente en la naturaleza, más allá de lo que la

química clásica puede ofrecer. Algunos de los beneficios de la construcción de materiales a escala nanoscópica pudieran incluir materiales más ligeros y fuertes, reducción en el costo de producción con mayor tiempo de vida y menor porcentaje de fallos, nuevas herramientas electrónicas basadas en nuevos principios y arquitecturas, etc. Se espera que surjan nuevos campos como la computación química y biomolecular y la computación cuántica. Los ladrillos moleculares de la vida (proteínas, ácidos nucleicos, lípidos, carbohidratos y sus similares no biológicos) son ejemplos de materiales que poseen propiedades únicas determinadas por su tamaño, forma y características en la nano-escala. La biosíntesis y los bioprocesos ofrecen fundamentalmente nuevas formas de manufacturar productos químicos y farmacéuticos. La integración de los ladrillos biológicos en materiales y herramientas sintéticas permitirán la combinación de funciones biológicas con otras propiedades de los materiales que son también deseables. La imitación de los sistemas biológicos muestra una gran área de experimentación en varias disciplinas. Por ejemplo, el área de la química biomimética está basada en estos análisis.

La medicina y el cuerpo humano

Los sistemas vivientes están gobernados por el comportamiento molecular en la escala nanométrica, donde la química, la física y la simulación computacional convergen.

Recientes pruebas sobre el uso de equipos y sistemas nano-fabricados sugieren que el problema de detectar e identificar la secuencia de una expresión de genes, hoy en día sumamente laborioso, puede ser resuelto mucho más eficientemente a través del uso de la nanotecnología. Una mayor habilidad para caracterizar una secuencia genética revolucionaría el proceso de diagnóstico y después el terapéutico. La nano-tecnología, más allá de facilitar un uso óptimo de los medicamentos, proveerá nuevas formulaciones y caminos para el diseño de las medicinas con vistas a una mayor y mejor asimilación por el organismo humano. Esto incrementará enormemente el potencial del tratamiento terapéutico. El aumento de las capacidades de la nanotecnología también beneficiará el estudio básico de la célula biológica y su patología ante distintas enfermedades. Así aumentará la posibilidad de caracterizar las propiedades químicas y mecánicas de la célula (como son la división celular y su locomoción) y medir las propiedades de una sola molécula. Estas habilidades

complementarán y en un futuro suplantarán las técnicas de promediación actualmente utilizadas en la ciencia que estudia la vida. Materiales biocompatibles y de gran capacidad de utilización se obtendrán como resultado de la habilidad de controlar sus nano-estructuras. Materiales artificiales de escala nano-métrica, tanto orgánicos como inorgánicos, podrán ser introducidos dentro de las células para asimilar funciones de diagnóstico (pudieran ser puntos cuánticos para la visualización), pero también pudieran ser utilizados como componentes activos. Finalmente, el aumento de la capacidad computacional permitirá la caracterización de redes macromoleculares en un ambiente real. Estas simulaciones serán esenciales para el desarrollo de implantes biocompatibles y para el estudio de los procesos de las nuevas drogas desarrolladas. Una pregunta abierta es cómo el sistema de cuidado de la salud podrá evolucionar con estos cambios profundos de la tecnología médica.

Desarrollo sustentable: agricultura, agua, energía, materiales y ambientes sanos.

La nano-tecnología conducirá a cambios dramáticos en la utilización y el reciclado de los recursos naturales y el agua, a novedosas formas de obtención y utilización de energías renovables. Esto conducirá a una reducción considerable de la contaminación. Podemos citar los siguientes ejemplos:

Ambientes

La nano-ciencia y la nano-ingeniería podrían aumentar significativamente el conocimiento de los procesos moleculares a nivel nanoscópico que ocurren en el medio ambiente; la generación y corrección de problemas ambientales a través del control de las emisiones; el desarrollo de nuevas tecnologías ecológicas que minimicen la producción de desechos indeseables y el saneamiento de vertederos sólidos y corrientes degradadas. La nanotecnología igualmente permitirá enfrentar el desafío de eliminar los contaminantes más pequeños del agua (más pequeños que 200 nanómetros) y del aire (por debajo de los 20 nanómetros) y el control continuo y la atenuación de la polución de los grandes centros urbanos. Para comprender los fenómenos de la nano-escala en una amplia variedad de ambientes, los científicos y los ingenieros que estudian las propiedades fundamentales de las nanoestructuras necesitarán trabajar en conjunto con aquellos que intentan entender los complejos procesos de los ecosistemas. Las nanoestructuras podrán ser estudiadas buscando su conexión a sistemas naturales reales o a

usos beneficiosos del ecosistema. Los ambientes para la investigación pueden incluir diferentes lugares sobre el planeta como son las minas ácidas, fuentes superficiales de agua o ambientes polares.

Energía

La nano-tecnología tiene el potencial para revolucionar la utilización eficiente de la energía, su almacenamiento y su producción. Nuevas tecnologías que utilizan sus características a nivel nanoscópico, pero que han sido desarrolladas sin las futuras capacidades de trabajo a dicha escala ilustran este potencial:

- Aumento de la eficiencia de la conversión de la energía solar en otras formas de energía.
- Alta eficiencia de celdas de combustible, incluyendo el almacenamiento del hidrógeno en nano-tubos.
- Investigaciones realizadas ya durante un tiempo en la industria química sobre el uso de materiales cristalinos como elementos de catálisis han logrado funcionar a un tamaño de poro en el rango de un nanómetro y han reducido así el consumo y la pérdida de energía.
- El material MCM-41 desarrollado por la industria del petróleo, (más conocido como “self-assembled monolayers on mesoporous support”, SAMMS) de un tamaño de poro comprendido en el rango de 10 a 100 nanómetros es ampliamente usado para eliminar contaminantes ultrafinos.
- Algunas compañías químicas manufactureras han desarrollado un polímero trabajando a nivel nanoscópico que puede reemplazar componentes metálicos en automóviles. El amplio uso de estos nuevos “nano-compuestos” pueden ocasionar una amplia reducción del consumo de litros de gasolina por los vehículos y consecuentemente una reducción de las emisiones de dióxido de carbono.
- Se esperan cambios significativos en la tecnología de producción de la luz en los próximos 10 años. Los semiconductores usados en la preparación de los diodos emisores de luz (LEDs) para el alumbrado podrán ser fabricados con dimensiones

nanoscópicas. En países como Estados Unidos, aproximadamente el 20% de toda la electricidad es consumida por el alumbrado, incluyendo la luz incandescente y fluorescente. Las proyecciones indican que en 10 o 15 años la producción de luz a través de la nano-tecnología tendrá el potencial de reducir el consumo mundial de energía para el alumbrado en más de un 10% con el ahorro correspondiente para la economía y la correspondiente reducción en 200 millones de toneladas de emisiones de carbono.

- La sustitución de los compuestos de carbono en las gomas de los vehículos por partículas nano-métricas inorgánicas como arcilla o polímeros es una nueva tecnología que producirá nuevas gomas biodegradables y resistentes.

Agua

La población mundial se incrementa mientras que las fuentes de agua potable disponibles se reducen. Las Naciones Unidas predicen que en el año 2025 aproximadamente 48 países estarán con déficit de agua fresca. En estos países vivirá el 32% de la población mundial. La purificación y desalinización del agua se convierten así en uno de los objetivos de investigación. El consumo de agua se incrementa dos veces más rápido que lo que se incrementa la población humana, mientras que por otro lado aumenta la polución de la misma debido a vertederos industriales. La nano-tecnología permitiría el desarrollo de herramientas para la desalinización del agua de mar usando al menos 10 veces menos energía que la destilación. Los experimentos que proporcionarían dicha capacidad están efectuándose precisamente en nuestros días. Esta eficiencia energética en el proceso de desalinización es posible gracias a la fabricación de electrodos de gran área usando nano-tubos de carbono y otras innovaciones en dicha escala.

Agricultura

Las aplicaciones de la nano-tecnología en la agricultura están sólo comenzando. Esta contribuirá directamente a su avance en varias formas:

- ingeniería molecular de químicos biodegradables para proteger las plantas contra las diferentes plagas existentes
- mejoramiento genético de animales y plantas

- diseño y asimilación de genes y medicinas en los animales
- desarrollo de las tecnologías de las bases nanoscópicas de ADN para hacer pruebas que, por ejemplo, permitirán conocer qué genes se manifiestan en una planta cuando ésta ha sido o está expuesta a ambientes salados o a sustancias químicas.

Exploración espacial

Actualmente los cohetes que deben llevar las naves a una órbita circumterrestre o más allá necesitan una gran cantidad de combustible. El deseo de realizar misiones a otros planetas impulsa la investigación para reducir el tamaño, el peso y el consumo de dichos cohetes. Materiales nano-estructurados y diversas herramientas prometen dar solución a dichos desafíos. La tecnología de las nano-estructuras será también enormemente importante en el diseño y manufactura de materiales más ligeros, resistentes y térmicamente estables para aviones, cohetes, estaciones espaciales y plataformas para la exploración del sol y los planetas. La utilización de sistemas altamente automatizados conducirá a un desarrollo de la tecnología manufacturera. Además, las condiciones de micro-gravedad y alto vacío del espacio pueden conducir al desarrollo y diseño de sistemas nano-estructurados que no podrían ser creados en la Tierra.

Penetrando el mercado

Los economistas aún no han comenzado a investigar a profundidad la nano-tecnología y por eso sus características son vistas a través de la experiencia con tecnologías anteriores. Es de esperar que la nueva aplicación de una tecnología será inicialmente más costosa que la ya existente, pero con un mayor nivel de ejecución en su uso. Sin embargo, tecnologías completamente nuevas pueden ser más baratas, como por ejemplo la tecnología química para producir circuitos nano-electrónicos en oposición a los métodos actuales que usan la litografía en la microelectrónica. La nano-tecnología ofrecerá sobre todo avances sustanciales en el tamaño, rapidez, fortaleza y seguridad en sus producciones. Al mismo tiempo requerirá de inversiones en nuevas facilidades de producción y desarrollo de otras industrias proveedoras de materiales crudos, componentes, etc. Debido a que tomará tiempo en alcanzar los modos de producción y fabricación más económicos, los costos serán relativamente altos al principio.

Por esta razón, la nano-tecnología de los bienes de consumo será la que con más

probabilidad se introduzca en el mercado donde las utilidades que ofrezca sean más importantes que el precio que cuesten. Ejemplos pudieran ser las aplicaciones médicas y la exploración espacial. La experiencia así obtenida contribuiría a reducir la incertidumbre y las inseguridades y prepararía a dicha tecnología para entrar al mercado. El desplazamiento de una vieja teoría por una nueva tiende a ocurrir lentamente. La nanotecnología puede estimular innovaciones en la vieja tecnología y hacerla mejor para competir. La difusión e impacto de la nano-tecnología será en parte función del desarrollo de tecnologías complementarias y del desarrollo de la red de usuarios. Podrán ser desarrolladas industrias completamente nuevas junto a científicos y técnicos entrenados para formar parte de ellas. A lo largo de este camino podrán surgir obstáculos que los procesos ordinarios del mercado no puedan superar fácilmente. Un papel importante de los gobiernos será garantizar la inversión a largo plazo y de alto riesgo requerida para crear estas nuevas industrias y asegurar que su funcionamiento sea consistente con los intereses sociales.

La nano-tecnología y las interacciones sociales

El proceso interactivo de la innovación y la difusión. Las nuevas tecnologías aparecen a través de un complejo sistema de factores técnicos y sociales. La nano-tecnología producirá un proceso de innovación, la difusión de cuyos beneficios en la sociedad es un proceso complejo y hasta ahora entendido sólo parcialmente. Los economistas y especialistas de otros campos han estudiado largamente la generación, la difusión y el impacto de las innovaciones científicas y tecnológicas. Dichos estudios destacan las variables que determinan el tamaño y dirección de dichos impactos y permiten identificar las preguntas relevantes que la investigación debe resolver. Igualmente proveen las bases sobre las cuales se puede estudiar el impacto y las implicaciones sociales de la nanotecnología. Los descubrimientos científicos crean el escenario para los cambios que vendrán debido a la interacción de las viejas y las nuevas tecnologías en el contexto de la economía y las necesidades sociales. La difusión profunda de las nuevas tecnologías raramente ocurre de golpe. La nano-tecnología será tan diversa que sus efectos tomarán décadas de trabajo para que encuentren su camino a través del sistema socio-económico. Mientras que los factores del mercado sean los que determinen en última instancia cuáles avances de la nano-tecnología se harán comerciales, será necesaria una asistencia económica a las investigaciones de la

nanociencia en las etapas iniciales para que la falta de inversiones no se convierta en un factor de freno a su desarrollo.

Consecuencias involuntarias y de segundo orden.

Quizás las mayores dificultades en la predicción de los impactos sociales de las nuevas nanotecnologías tienen que ver con el hecho de que una vez que se han demostrado las nuevas facilidades técnicas y comerciales de una innovación tecnológica, su posterior desarrollo está más en manos de los posibles usuarios que de los innovadores. La difusión y el impacto de innovaciones tecnológicas a menudo depende del desarrollo de tecnologías complementarias y de la red de usuarios que se cree. Como resultado, las nuevas tecnologías pudieran afectar a la sociedad en formas que no se habían planificado por aquellos que inicialmente las crearon. A menudo dichas consecuencias involuntarias son beneficiosas, un ejemplo de ello es el progreso que Internet ha experimentado a partir de que fue creada para facilitar las comunicaciones de varias universidades en Estados Unidos. En otros casos, beneficios que se perseguían pueden tener inesperadas consecuencias de “segundo orden”. Los tratamientos médicos basados en la nano-tecnología pueden implicar un significativo aumento del tiempo y calidad de vida de las personas de mayor edad, cuya consecuencia de “segundo orden” será el aumento de la proporción de población con dicha edad, lo que requerirá cambios en el sistema de pensiones, un incremento de la edad de retiro de la vida laboral activa, etc. Otras consecuencias no deseables son el riesgo de que cierren industrias que quedan rezagadas tecnológicamente. Igualmente deberán ser vigilados los posibles impactos ambientales de la utilización de este nuevo tipo de tecnología ya que, aunque su utilización puede brindar gran ayuda a enfrentar los actuales problemas por los que atravesamos, igualmente puede crear otros. Así mismo, la nano-tecnología, como toda ciencia nueva, crea nuevas interrogantes de carácter ético sobre su utilización e implementación, ya sea en su uso en los animales, en la salud, en los nuevos experimentos con los que esté relacionada, etc. Para acceder a la nano-tecnología (o a cualquier tecnología) en términos de sus consecuencias inesperadas, los investigadores tendrán que examinar todo el sistema del cual dicha tecnología forma parte, junto con todo su ciclo de vida. Como ilustra el caso de los automóviles eléctricos, sin un cuidadoso análisis de todo el sistema de actividades que produce, opera y eventualmente rechaza la anterior tecnología, las personas pudieran llegar a la falsa conclusión sobre la

medida en que la nueva tecnología contamina el ambiente. Por ejemplo, la creación y utilización de las baterías de los vehículos eléctricos puede conducir a una mayor agresión al medio ambiente que si el vehículo ha sido construido y preparado durante su ciclo útil utilizando combustible fósil. Probablemente el impacto inicial de la nanotecnología estará limitado a servicios y productos muy específicos. Los bienes y servicios basados en esta nueva tecnología son los que con más probabilidad se introducirán primero en el mercado donde los consumidores tienen la voluntad de pagar por el nuevo producto o por su mejor ejecución. Por ejemplo, esto podría incrementar las cosechas de alimentos, generar nuevas industrias textiles, mejorar la producción de energía o curar algunas enfermedades. A largo plazo, y como se ha dicho anteriormente, el desplazamiento de una vieja tecnología por una nueva tiende a ser tanto lenta como incompleta, por lo que la nano-tecnología coexistirá por un período de tiempo con viejas tecnologías en vez de reemplazarlas de pronto. Durante este tiempo, afectará el desarrollo posterior de dichas tecnologías en competencia. Otro efecto secundario pudiera ser el cambio en la demanda de productos y servicios pues las personas esperan otros tipos de comida, cuidados médicos, entretenimientos, etc. Este cambio en la demanda pudiera también iniciar un tercer orden en su efecto, que consistiría en la necesidad de aumentar la infraestructura tecnológica: centros interdisciplinarios de investigación, nuevos programas educacionales para formar nano-científicos y nanotecnólogos, etc. Otro efecto de tercer orden pudiera ser la necesidad de modificar nuestros patrones y estructuras sociales como son cambios en la educación, las carreras, la vida familiar, las estructuras de gobierno, etc. Como no hay manera de conocer, a priori, las consecuencias inesperadas de alto orden de la nanotecnología, la participación de profesionales de las ciencias sociales en el estudio de dichos impactos será de gran importancia para identificar tempranamente las interrogantes claves que surgen y la necesidad de corregir el rumbo de las acciones tomadas.

Aspectos éticos y compromisos públicos en la toma de decisiones.

Un objetivo importante de las investigaciones del impacto social de la nano-tecnología consiste en identificar los daños, conflictos de justicia y claridad, y cuestiones relacionadas con los individuos. Por ejemplo, el cambio en la necesidad de fuerza de trabajo y recursos humano pueden traer beneficios para algunas personas, pero dañar a otras. Otros ejemplos incluyen la seguridad de los trabajadores comprometidos con

procesos de producción arriesgados, disputas sobre la protección a la propiedad intelectual, y cuestiones sobre la relación entre gobiernos, industrias y universidades.

Los científicos e ingenieros le brindan a la sociedad un gran valor con los frutos de su trabajo. Sin embargo, aquellos que trabajan en un tema en particular pueden estar concentrados en los retos técnicos inmediatos y no ver de esta manera todo el potencial social y las implicaciones éticas del producto de su trabajo. Es importante incluir entonces un rango mayor de intereses, valores y análisis de perspectivas en el proceso de decisiones que planifica el futuro desarrollo de la nano-tecnología. La inclusión de sociólogos, humanistas, filósofos de la ética, etc, en el proceso de prever los procesos sociales asociados al desarrollo de la nano-tecnología es un paso de gran importancia. Como profesionales dedicados a su campo, ellos pueden garantizar la integridad profesional de los nano-científicos y nano-tecnólogos, al tiempo que contribuyen con su perspectiva del problema. Si se les brinda la información adecuada, ellos podrían alcanzar un alto grado de entendimiento y comprensión de una determinada técnica de la nano-tecnología y hacer una completa evaluación de la misma. Al mismo tiempo, están entrenados en representar el interés del público y serían capaces de funcionar como comunicadores entre los nano-tecnólogos y el público en general o el gobierno. Su labor podría ayudar a maximizar los beneficios sociales de las nuevas tecnologías mientras reducen la posibilidad de la ocurrencia de controversias públicas dañinas.

Por otro lado, es necesario dar atención a las responsabilidades individuales de los ingenieros, científicos u otros que estén envueltos en el proceso de generación de nuevas y potentes tecnologías. Los profesionales de la ciencia tendrán el papel de crear las oportunidades necesarias para la discusión con el objetivo de incorporar principios éticos adecuados dentro de los temas que vayan surgiendo. Quizás sea aún más importante que la ética sea incorporada de forma efectiva en el curriculum para los futuros nano-científicos, nanotecnólogos y técnicos de nano-fabricación.

La nano-tecnología y el mundo contemporáneo

Como hemos podido constatar en los epígrafes anteriores, la moderna tecnología está cada vez más en el centro mismo de la civilización contemporánea. Ella está cambiando y lo hará cada vez con más fuerza el mundo en que vivimos. Esta tecnología incorpora

de modo creciente y sistemático los resultados científicos. El proceso de integración entre la ciencia y la tecnología que las ha llevado a convertirse en la actualidad en una fuerza productiva directa, es ahora reforzado con la aparición en escena de la nanociencia. Esta última, junto a la revolución científico técnica de las comunicaciones y el reciente impulso de la biología constituyen lo denominado en algunos contextos como "Era de Transición". Este fenómeno revoluciona la producción, la actividad administrativa vinculada a ella y el modo de vida en general de las personas. Este fenómeno también ha sido acuñado como "integración vertical de la ciencia" y caracteriza tanto el proceso de acercamiento de la investigación científica a la práctica socioeconómica como al acercamiento dentro de la misma ciencia entre investigación básica, aplicada y orientada al desarrollo.

En estrecha relación con la integración vertical de la ciencia también tiene lugar el proceso de integración horizontal de la misma, el cual consiste en la interpenetración y entrecruzamiento de las disciplinas tradicionales. Podemos decir entonces que la nanotecnología, tanto por su integración alrededor de un problema determinado como por su integración interdisciplinaria de especialistas, es una ciencia que estará caracterizada precisamente por dicha integración horizontal. Ejemplos de ello se han analizado en los epígrafes anteriores donde se pudo constatar que la importancia de diferentes problemas complejos crece constantemente, aumenta el significado del trabajo en equipo y las divisiones tradicionales entre disciplinas se borran mientras se crean nuevas ramas de la actividad científica. Por otro lado, se puede argumentar que la interdisciplinariedad descansa en la unidad material del mundo, en la comunión de los elementos y estructuras objetivas que constituyen el objeto de las disciplinas. Es muy importante el hecho de que la nano-tecnología con su estudio del mundo a escala nano-métrica, la cual se ha demostrado ser la escala básica donde convergen las ciencias como la química, física y biología, esté fuertemente caracterizada por el estudio interdisciplinario y la integración horizontal. Es posible decir que la interdisciplinariedad podrá manifestarse en este caso debido a la presencia de los siguientes factores objetivos: existencia de madurez disciplinaria y especialistas que la expresan, existencia de la necesidad de resolver problemas complejos (la salud, el medio ambiente, etc) que requieren enfoques multilaterales e integrados, problemas prácticos que resolver y mentalidad y disposición adecuadas por parte de la comunidad científica. La necesidad de la presencia de trabajadores de las ciencias sociales e

investigadores de la ciencia dentro de los equipos de investigación de la nano-tecnología contienen la esperanza de salvar la distancia que separa la cultura científica y humanista. Quizás tengan razón aquellos que piensan que la historia de la ciencia debe ayudar a salvar dicho abismo. De esta forma la nano-tecnología se nos presenta como una manifestación natural del desarrollo de la sociedad actual y de la ciencia dentro de ella. Un problema que habrá que enfrentar será la educación de los nano-científicos, nanotecnólogos y técnicos de nano-fabricación. Será necesario atraer a suficiente cantidad de estudiantes hacia las disciplinas físicas e ingenieriles relevantes a la nano-tecnología. Ellos serán necesarios para construir las futuras industrias de la nano-tecnología y necesitarán para ello tener un pensamiento, educación y perspectiva multidisciplinaria. Su educación dependerá así de equipos multidisciplinarios de alto nivel con conocimientos de biología, medicina, matemática aplicada y computacional, física, química, e ingeniería mecánica, química y electrónica. Los responsables de esos grupos probablemente necesitarán experiencia en varias de dichas disciplinas y todos los miembros del grupo necesitarán tener una valoración general de los otros miembros del equipo. Esto presentará un gran desafío para los planes de estudio de las universidades e instituciones caracterizadas por formas de enseñanza compartimentadas. La educación actual favorece la especialización, por lo que habrá la necesidad de introducir cambios fundamentales en los sistemas de enseñanza. Sin embargo, la introducción de nuevos programas de estudio que provean un estudio superficial de varias de estas disciplinas, sin profundizar demasiado en ninguna de ellas, pudieran no transmitir el entrenamiento necesario para los futuros desafíos a que se enfrentarán los nanocientíficos. Lograr el balance adecuado entre la especialización y el entrenamiento interdisciplinario necesitará de investigación en los procesos educativos y las fuerzas de trabajo necesarias. La educación de los nano-científicos y nano-tecnólogos requerirá de facilidades espaciales de laboratorios que con toda seguridad serán caros. Soluciones innovadoras tendrán que ser encontradas como por ejemplo nuevas asociaciones con la industria y el establecimiento de facilidades de nano-fabricación compartidos entre las universidades, las escuelas de ingeniería, etc. El acceso remoto a base de datos con estas facilidades pueden proveer una poderosa herramienta que no existe hoy en día. A pesar de los tremendos retos educativos, las oportunidades intelectuales, económicas y sociales de la nano-tecnología deberán convertirse en un factor de peso para la estimulación de jóvenes estudiantes hacia dichas disciplinas científicas y tecnológicas.

Conclusiones

La nano-tecnología transformará la ciencia, la tecnología y la sociedad en forma esencial.

Dentro de 10 a 20 años una parte significativa de la producción industrial, la atención médica y la interacción con el medio ambiente cambiará debido a la utilización de las nuevas tecnologías. Serán afectadas ramas de la vida humana en el planeta como son el desarrollo de la economía, las oportunidades de trabajo y empleo, el desarrollo sustentable y cuidado y preservación del medio ambiente entre otros. Para poder estar preparados para los cambios y poder asimilar, implementar y utilizar los beneficios de las nuevas tecnologías que se desarrollarán, toda la comunidad de científicos y tecnólogos deben incluir a todos sus miembros y a los miembros de la sociedad en el estudio de las manifestaciones futuras de los cambios que vendrán y en la definición de los objetivos sociales a lograr. También habrá que estar atentos a los efectos inesperados e implicaciones éticas de los mismos con vistas a poder hacer las correcciones necesarias en marcha. La nano-tecnología podrá, tenemos confianza en ello, ayudar a resolver los urgentes problemas que tenemos en el mundo, como son la utilización de fuentes de energía renovables y alternativas, los cambios climáticos que se aproximan, la utilización de agua potable, el desarrollo de la agricultura y la creación de modos de desarrollo sustentables.

Bibliografía:

M.C. Rocco and W. Bainbridge eds., Societal Implications of Nano-science and Nanotechnology, Proc of Workshop at NSF, 2001.

M.C. Rocco, "From vision to the implementation of the U.S. National Nano-technology Initiative", Journal of Nano-particle Research 3, 5-11 (2001).

Mario Bunge, La investigación científica, Editorial Ciencias Sociales, 1972.

Jorge Núñez Jover, "La ciencia y sus leyes de desarrollo", Problemas sociales de la Ciencia y la Tecnología, Ensayos GESOCYT, Editorial Félix Varela, Universidad de La Habana, La Habana 1994.

Jorge Núñez Jover, "Ciencia, tecnología y sociedad", Problemas sociales de la Ciencia y la Tecnología, Ensayos GESOCYT, Editorial Félix Varela, Universidad de La Habana, La Habana 1994.

Jorge Núñez Jover, “Universidad, investigación y postgrado: nuevos horizontes prácticos y epistémicos”, Problemas sociales de la Ciencia y la Tecnología, Ensayos GESOCYT, Editorial Félix Varela, Universidad de La Habana, La Habana 1994.

Jorge Núñez Jover, “La ciencia y la tecnología como process sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar”, Editorial Félix Varela, Universidad de La Habana, La Habana 1999.

Zhores I. Alferov, “Nobel Lecture: The double heterostructure concept and its applications in Physics, electronics, and technology”, Reviews of Modern Physics, 73, 767-782 (2001).

[Dr. Arezky Hernández Rodríguez](#)

Profesor Investigador Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM), Plantel Cuauhtépec, México.