

Reflexiones éticas relacionadas con el uso e investigación de la nanotecnología

Ethical reflections related to the use and research of nanotechnology

—

Santos Adriana Martel Estrada
mizul@yahoo.com

DEPARTAMENTO DE DISEÑO, INSTITUTO DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ARTE.
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA, MÉXICO.

Para citar este artículo:

Martel Estrada, S. A. . (2022). Reflexiones éticas relacionadas con el uso e investigación de la nanotecnología. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 11(29). <https://doi.org/10.31644/IMASD.29.2022.a05>

RESUMEN

Actualmente, la nanotecnología es un área emergente del conocimiento de carácter interdisciplinario. Abarca diversas aplicaciones que incluyen la biomédica, alimentos, energía, armamentista e industrial. A pesar del potencial de sus aplicaciones, en este momento surge la necesidad de considerar éticamente los beneficios y riesgos que representa el uso y desarrollo de la nanotecnología para los ecosistemas natural, económico y social. En este documento se analizan cuestiones éticas del uso de la nanotecnología, incluyendo aspectos normativos y análisis de riesgo desde el punto de vista de sus dimensiones bioéticas. Es relevante una reflexión relacionada con las implicaciones éticas y bioéticas de las diferentes aplicaciones nanotecnológicas, sin dejar de lado sus posibles beneficios y amenazas. En general, esta reflexión conduce a la necesidad de que los investigadores influyan para que el marco normativo nacional e internacional no limite el desarrollo del avance científico, pero que sí asegure que dicho progreso no atente contra la seguridad de los seres humanos y del planeta en general.

Palabras clave:

Bioética; Nanotecnología; nanomateriales.

— *Abstract*—

Currently, nanotechnology is an emerging interdisciplinary knowledge area. This discipline encompasses biomedical, food, energy, arms, and industrial uses of it. Despite its applications' potential, there is a need to ethically consider the benefits and risks that nanotechnology uses and development represent for natural, economic, and social ecosystems. This document analyzes ethical issues of the use of nanotechnology. An analysis of the risk and regulatory aspects can be carried out considering its bioethical dimensions. For these reasons, a reflection related to the ethical and bioethical implications of the different nanotechnological applications becomes relevant without neglecting their possible benefits and threats. In general, these reflections must drive researchers to influence the national and international regulatory framework for not limiting scientific progress. It also ensures that said progress does not threaten human beings' safety and the planet in general.

Keywords:

Bioethics; Nanotechnology; nanomaterials.

Desde el punto de vista de la tradición científica, se pueden señalar eventos memorables que han formado parte de la estructura social que reúne a los científicos en las mismas metas. En 1959 Richard Feynman otorgó a la comunidad científica un discurso denominado *Plenty of Room at the Bottom* (Feynman, 1959). Este documento se convirtió en un pronóstico educado de las posibilidades científicas en el estudio de la nanoescala y de alguna manera resumía con gran elocuencia el camino por el que se desenvolverían los científicos en las siguientes décadas. No obstante, a pesar de lo valioso del discurso, omitió mencionar las implicaciones éticas de dicha tecnología.

Actualmente, la nanotecnología abarca uso de materiales y dispositivos en la industria médica, electrónica y diversas cuestiones industriales (Brune, 2010). Es descrita como un área emergente e interdisciplinaria de investigación con importantes aplicaciones comerciales que involucra a las nanociencias, que serán una tecnología dominante de investigación en las economías del nuevo mundo (Stapleton, 2014). Tiene un carácter interdisciplinario abarcando áreas del conocimiento como física, química, biomédica y ciencia de los materiales (Berne & Schummer, 2005). Se ha considerado que tendrá importantes contribuciones para la solución de los retos actuales de protección ambiental, salud y limitaciones de recursos y energía (Ferrari, 2014). Como disciplina abarca también el estudio y generación de nanodispositivos para diagnóstico, seguridad y aplicaciones militares. Ha sido descrita como una tecnología emergente que opera con objetos (átomos y moléculas) enfocados en una escala de aproximadamente 100 nanómetros y más pequeños (Khan, 2014; Stapleton, 2014).

La nanotecnología en estos momentos es más que una historia de ciencia ficción. Muchos investigadores la consideran la última caja de juguetes de la naturaleza, que incluye átomos y moléculas, y en la cual las posibilidades de crear cosas nuevas son ilimitadas (Amato & Carroll, 1999). De esta manera, estas dimensiones imposibles de ver con el ojo del ser humano, se convierten en objeto de esperanza y sueño para quienes requieren de un avance tecnológico para una enfermedad incurable, pero también son un motivo de preocupación para la comunidad científica, ante la imposibilidad de tener una certeza de las repercusiones de todo el uso de esta tecnología a corto y largo plazo.

Aunque muchas de las preocupaciones éticas con respecto a la nanotecnología están basadas en ideas erróneas de una manera muy similar a lo argumentado por Jonas (Van de Poel, 2008), para el imaginario público no existe una diferencia entre lo que es científicamente posible y lo que abraza a la fantasía.

Desafortunadamente, las implicaciones de la tecnología comúnmente han sido dejadas de lado por el discurso ético y científico. Los investigadores, provistos de una libertad de investigación y con el afán de descubrir y aprender de la naturaleza, emprenden una carrera por sumergirse en el mundo nanométrico, con la finalidad de entender cómo se relacionan partículas y moléculas para crear y configurar la realidad. En este contexto, a pesar de las argumentaciones de Potter con respecto los riesgos de una ciencia sin límites (Rogotneva, Melik-Haikazyan, & Goncharenko, 2015), para los teóricos habitualmente la tecnología se ha considerado moralmente neutral, y solo su uso o finalidad han sido materia de una evaluación moral (Larrere, 2010). No obstante, las implicaciones bioéticas de la investigación en nanotecnología, se deben convertir en objeto de reflexión de comités científicos en sus diferentes niveles. En este sentido, es importante cuestionar y asegurar que la investigación en nanotecnología se desarrolle no solo por una necesidad innata de adquirir conocimiento, sino que incluya una visualización de sus posibles aplicaciones y por ende, los riesgos de las mismas (Brune, 2010). Es decir, es necesario considerar éticamente los beneficios y riesgos que representa el uso y desarrollo de la nanotecnología para la vida social, económica, cultural y aún más complejo, para la vida misma.

Para este fin, se han desarrollado diferentes propuestas para el análisis bioético de conflictos con el uso de nanotecnología. Principalmente, los dilemas han sido abordados con un enfoque en la administración del riesgo (Bawa & Johnson, 2007). Sin embargo, dada la facilidad de acceso a medios digitales, resulta prudente considerar el método propuesto por Brune en donde, a partir de una búsqueda de información, se evalúan los aspectos éticos no incluidos en legislaciones o normas, de tal manera que se pueda identificar si existen diferencias entre lo que se reporta y lo que realmente se realiza (Van de Poel, 2008).

Por estos motivos, es relevante una reflexión relacionada con las implicaciones éticas y bioéticas de las diferentes aplicaciones nanotecnológicas, sin dejar de lado, sus posibles beneficios y amenazas a partir de un análisis exhaustivo de la literatura.

LA BIOÉTICA RELACIONADA CON LA NANOTECNOLOGÍA

De acuerdo con Pascussi la bioética puede ser definida como "el estudio y el análisis metódico del comportamiento del ser humano en las áreas del saber científico relacionado con la vida y con la salud desde los valores, principios y postulados éticos y morales"(Castro, 2016). Esta disciplina puede ser analizada a partir del principialismo bioético propuesto inicialmente por Beauchamp y Childress (Escobar López, 2012; Siurana Aparisi, 2010), y

que considera los principios de autonomía, beneficencia, no maleficencia y el de justicia. A partir de éstos resulta justamente relevante una reflexión de las implicaciones bioéticas relacionadas con el uso e investigación de la nanotecnología.

La dimensión bioética no ha estado alejada de los espacios científicos del todo. No obstante, ha sido colocada en el ámbito de la investigación médica debido principalmente a las terribles experiencias documentadas en el Informe Belmont (Siurana Aparisi, 2010), con una participación limitada en otras áreas científicas. Recientemente, las principales preocupaciones en el uso de la nanotecnología se centran en la posibilidad de que sea utilizada por los gobiernos para atentar contra la privacidad, así como la seguridad de la vida humana y animal.

Por otro lado, en el discurso bioético prevalece la preocupación del concepto de responsabilidad ética de Jonas, con relación al uso e investigación con nanotecnología (Ferrari, 2014). Al respecto, no hay claridad si esta obligación debe recaer en la política pública o en la ética de científicos y fabricantes. A lo anterior se agrega la ignorancia de los encargados de legislar en la materia, no solo en los países en desarrollo, sino aún en los más desarrollados, quienes toman decisiones sin tener pleno conocimiento de las mismas.

Por otro lado, se ha presentado la alternativa de centrar la atención en principios para decisiones éticas relacionados con los desarrollos en biotecnología y nanotecnología, entre los que se considera tomar como referencia los efectos de tecnologías similares, así como modelos de estimación de consecuencias o riesgos (Berube, 2011).

Desafortunadamente, en casos previos, como los efectos de los asbestos sobre la salud, o la situación de los organismos genéticamente modificados en Europa, han significado un rechazo público a la tecnología (Barakat & Jiao, 2010). Larrere (2010) ya había visualizado que gran parte del discurso se centra en los conceptos de seguridad y justicia. No obstante, sin restar importancia a la necesidad de que la nanotecnología pruebe su seguridad, y no se afecte la posibilidad de que las personas tengan acceso a ella, hace falta que la reflexión vaya más allá de estos aspectos morales.

Es importante entender que la nanociencia se encuentra todavía en una fase muy temprana de su desarrollo y es imposible predecir todas las posibles cuestiones éticas que se deberán abordar en los diferentes niveles de los comités de bioética relacionados (van de Poel, 2008). Las discusiones y ejemplos pueden demostrar la necesidad de incluir un enfoque social y el replanteamiento de los compromisos éticos en el desarrollo de la nanotecnología (Stapleton, 2014). Por esta razón, hay una necesidad de encontrar y proponer métodos para discernir aspectos éticos implicados en el desarrollo

nanotecnológico. Sin embargo, la reflexión ética en esta área no requiere nuevos principios, sino que demanda la aplicación de principios éticos a nuevos dominios.

Sin lugar a dudas, los preceptos enunciados en Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos de la UNESCO (2005), referente a los 15 principios de la bioética, indican que prevalece la obligatoriedad de ser un aspecto fundamental en la evaluación de las implicaciones de avance de la nanotecnología. En este sentido, debe destacarse que, independientemente de la novedad que presenten este tipo de investigaciones, el respeto a la dignidad humana y los derechos humanos, los beneficios y efectos nocivos, el respeto a la autonomía y la responsabilidad individual, el consentimiento informado, respeto a la vulnerabilidad humana, la privacidad y confidencialidad, igualdad, justicia y equidad, no discriminación, respecto a la diversidad cultural, solidaridad, responsabilidad social y salud, aprovechamiento compartido de los beneficios, protección de las generaciones futuras y protección del medio ambiente, siguen siendo una prioridad.

LA NANOTECNOLOGÍA COMO ASPIRACIÓN PARA LOGRAR JUSTICIA SOCIAL

La justicia es un concepto requerido para mantener el orden social y evitar la desintegración de las comunidades, atendiendo sus necesidades primordiales, como el derecho a los cuidados de la salud (León Correa, 2009; Siurana Aparisi, 2010). La Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos, en sus artículos 4 y 15, enuncia la necesidad de que los beneficios de la investigación científica sean compartidos con la sociedad de todos los países, enfatizando en que las aplicaciones también se den en los países en desarrollo (UNESCO, 2005). Para la UNESCO (2012), “la justicia social está basada en la igualdad de derechos para todos los pueblos y el acceso a los beneficios del progreso social y económico para todos, sin discriminación.” En este sentido, resulta entonces imprescindible abordar cuál ha sido el papel de la nanotecnología en promover estos anhelados beneficios entre las naciones.

Desde el punto de vista de investigación, hay esfuerzos dispares entre los países. Así por ejemplo en 2005, se habían reportado en Estados Unidos 4605 investigadores por millón de habitantes y 244 patentes, mientras que en México esas cifras eran de 268 investigadores y 1 patente, o en India 119 investigadores y 1 patente (Kay & Shapira, 2009). Desde el punto de vista regional, es importante mencionar que se considera que en América Latina, son Brasil, México y Argentina los países que más han impulsado el desarrollo de las nanotecnologías en este continente, con contribuciones en infraestructura y artículos científicos (Foladori, 2013).

A nivel global, los recursos y la creatividad de los investigadores están encauzados a desarrollar nuevas aplicaciones de dispositivos y materiales nanométricos. En la Tabla 1 se resumen algunas de las aplicaciones destacadas en sectores industriales. Diferentes productos de consumo emplean interfaces en la nanoescala, como materiales repelentes de agua, retardantes de fuego y protección UV. La sociedad y los individuos han sido beneficiados de muchas maneras con ellas. De esta forma, la protección intelectual desarrollada en los diferentes países abarcan desde aplicaciones para tratamiento de enfermedades hasta dispositivos de apoyo en desastres naturales (O'Mathúna, 2007). En este sentido, Richard Smalley, un científico ganador del Premio Nobel, consideraba que la nanotecnología jugaría un rol importante en crear energía suficiente para mitigar la demanda de la población (Roco & Bainbridge, 2007). Es decir, permitiría un acceso democrático a los beneficios de la tecnología (Berne, 2004).

No obstante, en países como Brasil, la nanotecnología ha sido promovida por élites científicas como medio de progreso, eficiencia y competitividad, pero las comunidades pobres no aprecian sus beneficios, y los críticos argumentan que solo ha contribuido a incrementar las desigualdades económicas y sociales en el país (Kay & Shapira, 2009).

Tabla 1
Aplicaciones de la nanotecnología en diferentes sectores industriales

Sector	Tecnología	Ejemplo	Fuente
Médico	Diagnóstico y sistemas de liberación controlada de fármacos y biosensores	Diagnóstico y sistemas de administración de fármacos y estrategias basadas en nanopartículas poliméricas, inorgánicas, basadas en lípidos, hidrogeles o terapia basada en células madre y génica, etc.)	(Chaichi, Sheikh, Mukhopadhyay, & Gartia, 2021; Dong et al., 2021; Huang, Qiu, Zhang, & Tan, 2021; Maddu, 2021; Wang, Rahimi, & Filgueira, 2021; Zhao et al., 2021)
Agrícola	Diagnóstico y liberación controlada de pesticidas y micronutrientes	Diagnóstico y tratamiento de enfermedades, liberación de pesticidas, de micronutrientes y fertilizantes, etc.	(Acharya & Pal, 2020; Salama, Abd El-Aziz, Rizk, & Abd Elwahed, 2021)
Alimentos	Aditivos y nutracéuticos/sensores de detección de sustancias tóxicas o patógenos/empaque	Nano-aditivos, sistemas de administración de nutracéuticos, detección de sustancias y patógenos peligrosos, empaque inteligente y biodegradable, etc.	(Alfei, Marengo, & Zuccari, 2020; He, Deng, & Hwang, 2019; Krishna et al., 2018; Rodríguez-Ramos, Santana-Mayor, Socas-Rodríguez, & Rodríguez-Delgado, 2021; Sahani & Sharma, 2021)
Petrolero	Nanorobots y nanosensores/estructuras de almacenamiento de productos	Nanosensores, nanorobots y nanoinformadores, en varios campos de exploración y caracterización de yacimientos, incluida la detección de hidrocarburos, el monitoreo del frente de inundación y la detección y monitoreo de gases del subsuelo. Estructuras de almacenamiento de combustible con nanopartículas de sílice en cemento para un adecuado aislamiento.	(Kumar & Foroosh, 2021; Maagi, Lupyana, & Jun, 2020)
Ambiental	Tratamiento de aguas y desarrollo de biocombustibles	Membranas realizadas con diferentes materiales con características nanométricas para el tratamiento de aguas. Uso de materiales nanométricos para mejorar el proceso, generando mayores cantidades de biocombustibles.	(Devi & Chaturvedi, 2021; Kumar Das, Prava Das, & Dash, 2021; Shukla, Anusha, Ramaiya, Lee, & Sadeq, 2021; Singha & Kumar Mishrab, 2020; Vasantha, Sharvari, Alfia, & Praveen, 2021)
Militar	Armas, combustibles, sensores de condiciones ambientales.	Capas para fortalecer la dureza o suavidad de superficie. Nanopartículas como aditivo de combustibles. Nanopartículas en armas. Sensores para evaluar la calidad del aire en situaciones que involucren fuerzas de defensa y equipos de emergencia.	(Coyle & Diamond, 2010; Glenn, 2006; Umbrello & Baum, 2018)
Textiles	Capas y nanopartículas de refuerzo	Nanopartículas en textiles para diseño de interiores, telas repelentes al agua, no inflamables, y bloqueadoras de luz ultravioleta visible utilizadas en muebles y ropa de uso diario, deportiva y especializada.	(Melchor-Alemán, Mesta-Torres, & Martel-Estrada, 2016)

Fuente: Elaboración propia

Desde la perspectiva de su relevancia social, es vital continuar con la discusión de las razones sobre por qué el marco jurídico de la nanotecnología no ha alcanzado un acuerdo en la regulación de su uso (Stapleton, 2014). Algunos aspectos éticos han incluido las oportunidades en medio ambiente y salud y el riesgo potencial de las nanopartículas, así como en la privacidad y control de amenazas surgidas por el uso de nanodispositivos, las posibilidades de

tratamiento de enfermedades humanas, las consecuencias éticas en aspectos de equidad, justicia global, distribución de beneficios y riesgos, incluyendo aspectos éticos con respecto a pacientes y propiedad de derechos (Van de Poel, 2008). Dentro de los esfuerzos previos, destaca la declaración firmada por más de cien organismos, denominada Principios para la Supervisión de las Nanotecnologías y Nanomateriales, en donde se profundiza en la necesidad de aplicar la duda razonable en productos o procesos que puedan suponer un riesgo para la salud (Foladori, 2013). Aunque es importante este esfuerzo, desafortunadamente se enfoca en los riesgos e impactos de la nanotecnología, pero no establece ninguna declaración pertinente con respecto a la distribución de los beneficios de aplicación de la misma. Es decir, no se pueden negar los beneficios que pueden traer a la humanidad las diferentes aplicaciones nanotecnológicas, por lo que no se debe satanizar su uso, pero también es importante abordar ciertas cuestiones que pueden afectar derechos fundamentales o bien poner en riesgo la vida en general (Bennett-Woods, 2008). En este sentido, hay aspectos que han sido ya detectados y publicados por diferentes entidades de investigación. Por ejemplo, en 2004 la revista *Nature* publicó la necesidad de que cualquier nanomaterial producido debía proveer estudios de toxicidad en cualquier y en todos los nuevos nanomateriales (Stapleton, 2014).

Actualmente, este tipo de investigaciones se encuentran sujetas a dicha regulación en las principales agencias internacionales, como la FDA en Estados Unidos, o el Nanosafety Cluster (Nanosafety_Cluster, 2021) y las legislaciones REACH and CLP en Europa (European_Commission, 2021).

Por otro lado, puede resultar sorprendente desde el punto de vista del principio de justicia que la investigación sin precedentes en lo nano, puede llegar a niveles de manipulación de átomos en un microscopio de efecto túnel, pero sigan sin solución enfermedades antiguas en los países pobres. La justicia global requiere que la investigación en nanotecnología impacte al ingreso y salud, no solo de los países ricos, sino también del denominado Tercer Mundo, en donde todavía 2.3 millones de personas mueren por enfermedades prevenibles con vacunación (Hunt, 2008). Sin duda, la idea de que las enfermedades de los países en desarrollo eran su problema, ha sido totalmente hecha trizas entre otras cosas por enfermedades devastadoras como el síndrome de inmunodeficiencia adquirida, el síndrome agudo respiratorio y el ejemplo más reciente y doloroso, el SARS-2-COV-19. No obstante, a pesar de que la evidencia muestra que la vulnerabilidad de una nación a virus emergentes hace peligrar al mundo entero, todavía no hay acciones congruentes que muestren que los esfuerzos serán globales. Recientemente, la nanotecnología ha tenido un papel preponderante en el desarrollo de al menos tres vacunas contra la COVID-19 para uso en humanos, Pfizer/

BioNTech, Moderna y Novavax. No obstante, técnicamente la termoestabilidad de este tipo de vacunas y el requerimiento de ultra-congeladores ha sido un impedimento para su rápida distribución en países de bajo ingreso per cápita. Por otro lado, la equidad tampoco ha sido favorecida por las pre-órdenes de dosis realizadas por las naciones desarrolladas (Salamanca-Buentello & Daar, 2021)

A pesar de lo anterior, es indudable que los avances biotecnológicos serán clave en el entendimiento de la vida y el uso de su conocimiento para beneficiar al ser humano (O'Mathúna, 2007). Las aplicaciones de materiales o dispositivos nivel nano tienen un uso potencial en diferentes áreas científicas. Al respecto, se considera que sistemas de liberación de fármacos a nivel nanométrico permitirán tratamientos más eficientes. Por ejemplo, en el campo de la medicina, muchos proyectos de investigación se están enfocando en tratamientos contra el cáncer con el uso de nanopartículas ya sea para el tratamiento, el diagnóstico o teragnósticamente (Adach, *et al.*, 2016; Chung, Kim, & Hong, 2020; Dinparvar, *et al.*, 2020; Gorbet & Ranjan, 2020; Grall, *et al.*, 2015; Indoria, Singh, & Hsieh, 2020; Miller, Samec, & Alexander-Bryant, 2021; Mohamed, Alqahtani, Ahmad, Krishnaraju, & Kalpana, 2021; Shim, *et al.*, 2020). De esta manera, se utilizan diferentes enfoques que incluyen nanopartículas para potenciar el efecto de medicamentos en células cancerosas (Grall, *et al.*, 2015; Miller, *et al.*, 2021; Shim, *et al.*, 2020), de terapia dirigida (Cerqueira, Lasham, Shelling, & Al-Kassas, 2017; Chung, *et al.*, 2020; Ghorbani, Kokhaei, Ghorbani, & Eslami, 2020; Mohamed, *et al.*, 2021; Nejabat, *et al.*, 2020; Pang., *et al.*, 2021; Shim, *et al.*, 2020; Xu, *et al.*, 2020; Zhang, 2015), inmunoterapia (Wu, *et al.*, 2020; Zhou, Li, Lee, & Xie, 2020) o de partículas que permiten un adecuado diagnóstico (Adach, *et al.*, 2016; Ghorbani, *et al.*, 2020; Pavitra, *et al.*, 2019). No obstante, los principios bioéticos para permitir el desarrollo de investigaciones con seres vivos deben seguir siendo los mismos, enfocándose en el consentimiento informado, la minimización de riesgos y la protección de poblaciones vulnerables (Conti, Satterfield, & Harthorn, 2011; Cunha & Garrafa, 2016; Laudisio, *et al.*, 2020; ten Have, 2015; van de Poel, 2008). Igualmente, la idea de justicia debe ser muy relevante cuando se analiza cómo estos beneficios tecnológicos son distribuidos, dándole principalmente la posibilidad de accederlos a las poblaciones de los países ricos y dejando de lado a los países pobres. En este sentido, los contrastes son alarmantes, ya que en 2003 se reportaba que, mientras la gente en los países desarrollados tenían una esperanza de vida de 80 años, en algunos países africanos era de 30 años (O'Mathúna, 2007).

EL RIESGO DE LA NANOTECNOLOGÍA VISTO DESDE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS

La ciencia de la nanoescala tiene asociada incertidumbre debido a la posible evolución y potencial de novedosas propiedades de nanomateriales, que desde el punto de vista de las políticas públicas deben incluir nuevos modos de participación en la toma de decisiones, junto con enfoques para la administración del riesgo (Groves, 2009). Este enfoque debe visualizar el concepto de autonomía, los usos militares de estos materiales y los peligros a la salud (Barakat & Jiao, 2010). Desafortunadamente, gran parte de las decisiones de los gobiernos son desarrolladas bajo un esquema de ignorancia de los peligros y bondades de este tipo de tecnología.

A pesar de que los nanomateriales están siendo ampliamente utilizados en productos para la vida diaria, poco se conoce acerca de la opinión pública respecto al tema (Joubert, *et al.*, 2020). Si bien los aspectos culturales y demográficos son determinantes en la percepción del beneficio de la nanotecnología, esta idea no implica que se conozcan los riesgos, por lo que es necesario un esfuerzo para asegurar políticas públicas que consideren aspectos bioéticos relacionados con el desarrollo de la misma (Kamarulzaman, Lee, Siow, & Mokhtar, 2020).

Desde el año 2000, en Estados Unidos se ha elaborado un marco regulatorio que contempla los riesgos de la nanotecnología, tanto en la industria como en las universidades (Jung & Lee, 2014; Justo-Hanani & Dayan, 2015), debido a que la consideran estratégica para la competitividad industrial (Michelson, 2008; Motoyama, Appelbaum, & Parker, 2011). Desde el punto de vista de la regulación y estandarización de productos nanotecnológicos, es importante señalar que ya está contemplada por organizaciones como la ISO, la IEC y el CEN (Soltani & Pouypouy, 2019). A pesar de no ser mecanismos oficiales, sino de competitividad, regulaciones como el ISO, han llenado el vacío oficial regulatorio en naciones latinoamericanas como México (Delgado-Ramos, 2014).

En Reino Unido, se han realizado aportaciones relevantes en la materia. El instrumento denominado Reporte voluntario de materiales ingenieriles a nanoescala, tiene como meta estimular el interés tanto de importadores como de quienes los fabrican, para entregar datos relacionados con su toxicidad y ecotoxicidad (Wetmore & Posner, 2009). Esfuerzos similares de acciones no obligatorias han sido desarrollados a través de la Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos, con la finalidad de entender las implicaciones en la seguridad y salud ambiental (Arnaldi, 2014).

Por otro lado, en lo que respecta a la investigación en nanotecnología, es importante mencionar que los gastos de gobiernos como Estados Unidos, Israel y China, se han enfocado fuertemente en el desarrollo de industria

militar. Tan solo en Estados Unidos, entre 2000 y 2004, se invirtieron del 26 % al 31 % de los fondos federales en nanotecnología para este sector (Stapleton, 2014). Bajo el amparo de que las cuestiones relacionadas con el desarrollo armamentista son cuestiones de seguridad nacional, difícilmente los gobiernos dan a conocer los posibles impactos del uso de esta tecnología en las poblaciones en donde pudiera ser utilizada. De esta manera, en las políticas públicas hay un enfoque preponderante en los beneficios del uso de esta tecnología para aumentar el poderío militar de una nación, pero no se informa acerca del posible riesgo para la población civil.

Por otro lado, en muchas áreas de generación de conocimiento, la ética impacta el diseño de los experimentos científicos. Desafortunadamente, hay poca investigación de las implicaciones en salud y seguridad del uso de nanotecnologías en el área de trabajo, a pesar de que los trabajadores y científicos están expuestos a inhalación, absorción dérmica e ingestión de estas sustancias (Saleh, 2020; Schulte & Salamanca-Buentello, 2007). En este sentido, ya se había previsto que las dimensiones de la reflexión ética en nanotecnologías, no solo puedan centrarse en el ámbito de la bioética, sino en una ética que permita que estudiantes, ingenieros e investigadores la aborden en cualquier aspecto de su actividad (Barakat & Jiao, 2010). Aunque el uso de nanomateriales en el campo de trabajo e investigación se realiza con la aceptación de manera voluntaria del riesgo, la autonomía se encuentra comprometida, dado que tanto las investigaciones, como puestos laborales están en juego (Kühnel, *et al.*, 2019; Schulte & Salamanca-Buentello, 2007).

En este marco, cualquier investigación con humanos o animales participantes debe ser revisada y regulada (O'Mathúna, 2007). Sin embargo, ésta no es una realidad a todos los niveles. En China se han desarrollado dos proyectos con el interés de regular el uso de nanopartículas en investigación como el de Efectos Toxicológicos de materiales de carbono de 2004-2008 y el Impacto de las partículas superfinaes en el medio ambiente y salud de 2006-2010 (Dalton-Brown, 2012). De igual manera, el Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional, con una visión en las nanotecnologías y la protección de la salud humana y medio ambiente (Foladori, 2013). Por ejemplo, si bien es cierto que cuando se pretenden realizar investigaciones in vivo, de manera automática se solicita el cumplimiento de los permisos bioéticos correspondientes y el cumplimiento del marco regulatorio tanto en empresas como en universidades, en países como México no hay ninguna autoridad que regule al interior de los laboratorios académicos, el uso de dichas partículas con potencial de daño, al penetrar en la piel por contacto o por vías respiratorias, no solo a los investigadores, sino a sus estudiantes. Por ejemplo, a pesar de que algunos estudios han mostrado que los nanotubos de carbono son partículas tóxicas

(Ahmadi, *et al.*, 2017; Kunal Bhattacharya, Andón, El-Sayed, & Fadeel, 2013; K. Bhattacharya, *et al.*, 2016; Ema, Gamo, & Honda, 2016; Harik, 2017; Zhu, *et al.*, 2017) y que los fullerenos muestran el riesgo de causar daño oxidativo en el cerebro (Lenk & Biller-Andorno, 2007), daños mitocondriales (Yang, *et al.*, 2016), daños en ADN en fibroblastos humanos de pulmón (Ershova, *et al.*, 2016), etc., son constantes las investigaciones con este tipo de partículas al interior de las universidades sin ser reguladas o con estrictas medidas de seguridad.

Otro aspecto que debe considerarse es que las nanotecnologías en escala industrial consumen miles de toneladas de metros cúbicos de recursos, por lo que debe regularse el consumo desde el punto de vista de la sustentabilidad, así como en la abundancia de basura no reutilizable que pueden generar (Have, 2007). Uno de los peligros es la disposición final de los productos cuando culmine su tiempo de vida, generando un alto impacto ambiental. Por ejemplo, en Ghana se han realizado tiraderos de basura digital con un alto impacto a la salud y el medio ambiente (Stapleton, 2014).

Finalmente, hay que destacar que uno de los más grandes efectos de la nanotecnología toma lugar en los campos de la biología, la biotecnología y la nanomedicina (Bawa & Johnson, 2009), con respecto a las cuestiones básicas de derechos humanos, en donde también hay riesgos inherentes a evaluar. Una de sus aplicaciones se encuentra en la ingeniería tisular y medicina regenerativa (Danie Kingsley, Ranjan, Dasgupta, & Saha, 2013; du Toit, Kumar, Choonara, & Pillay, 2018; Hasan, *et al.*, 2016; Shajkumar, 2015). En esta área es pertinente cuestionarse acerca de qué funciones y mecanismos naturales del cuerpo humano son cualidades genuinamente humanas, particularmente cuando se da la transferencia de órganos no humanos a pacientes. Esto implica que las innovaciones en medicina nanotecnológica pueden intervenir en nuestra idea de identidad humana, ya que se pueden utilizar dispositivos que cambien radicalmente nuestra definición de ser humano, por medio de la implantación o transfusión de pequeñas partículas (Lenk & Biller-Andorno, 2007). Incluso pueden ir más allá con nanodispositivos de diagnóstico que tienen el potencial en un futuro cercano de ser capaces de identificar anormalidades a nivel celular, que pudieran implicar la predisposición de una persona a padecer una enfermedad (Bawa & Johnson, 2009), y por ende los riesgos de discriminación que esto significa.

REFLEXIONES FINALES

La necesidad de una evaluación bioética de las tecnologías emergentes, requiere considerar distintos enfoques. Uno de los que se podría utilizar sería el basado en lo que Hans Jonas ha llamado la heurística del miedo. De

acuerdo con Jonas, en la Edad de la Tecnología, el abanico de consecuencias de las acciones humanas son más amplias que los tradicionales enfoques éticos propuestos (van de Poel, 2008). Por otro lado, Habermas se enfoca en la responsabilidad colectiva como imperativo para el análisis de tecnologías emergentes (Zullo, 2014). En este sentido, se destaca la idea de Habermas de no poder decidir por otros y por ende minimizar el riesgo posible, pero maximizando la libertad de investigación y experimentación. Esto contrasta con otras posturas de investigadores que aunque ponen de relevancia el principio de precaución considerando el deber moral de asignar riesgos al uso de la nanotecnología vs la libertad personal de utilizar recursos económicos para el desarrollo de dispositivos o nanomateriales para tratamientos avanzados de enfermedades (Boisseau & Loubaton, 2011).

Sin embargo, los enfoques parecieran estar más situados en el marco de potenciales riesgos, que en la certeza de que existan. Uno de los enfoques previamente propuestos para discernir sobre aspectos éticos fue propuesto por Brune, resaltando la búsqueda de literatura sobre ética y nanotecnología, para posteriormente evaluar el material y revisar si existen aspectos éticos no incluidos en los marcos normativos. Al final, se propone identificar las posibles diferencias entre lo reportado y los esquemas de investigación actuales (Van de Poel, 2008).

Como se puede ver en esta propuesta, no hay un enfoque en el análisis local de pequeñas investigaciones al interior de los laboratorios de las empresas y universidades, sino de las publicaciones y los riesgos reportados por las mismas (Brune, 2010). No obstante, sigue siendo relevante la asignación de riesgos a corto y largo plazo del uso e investigación de nanopartículas.

Es por este motivo que, a falta de criterios desarrollados propiamente para el análisis ético de esta tecnología, se debe reconocer que los principios de la bioética deben ser utilizados para la reflexión y discusión de los nuevos dilemas surgidos a partir de este tipo de investigaciones. Dadas las bondades y peligros implicados en el uso de nanotecnología, los investigadores tienen el deber moral de influir para que el marco normativo nacional e internacional no limite el desarrollo del avance científico. Sin embargo, también deben asegurarse que dicho progreso no atente contra la seguridad de los seres humanos y del planeta en general.

REFERENCIAS

- Acharya, A., & Pal, P. K.** (2020). Agriculture nanotechnology: Translating research outcome to field applications by influencing environmental sustainability. *NanoImpact*, 19, 100232. doi: <https://doi.org/10.1016/j.impact.2020.100232>
- Adach, K., Fijalkowski, M., Gajek, G., Skolimowski, J., Kontek, R., & Blaszczyk, A.** (2016). Studies on the cytotoxicity of diamond nanoparticles against human cancer cells and lymphocytes. *Chem Biol Interact*, 254, 156-166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2016.06.004>
- Ahmadi, H., Ramezani, M., Yazdian-Robati, R., Behnam, B., Razavi Azarkhiavi, K., Hashem Nia, A., Abnous, K.** (2017). Acute toxicity of functionalized single wall carbon nanotubes: A biochemical, histopathologic and proteomics approach. *Chemico-Biological Interactions*, 275 (Supplement C), 196-209. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2017.08.004>
- Alfei, S., Marengo, B., & Zuccari, G.** (2020). Nanotechnology application in food packaging: A plethora of opportunities versus pending risks assessment and public concerns. *Food Research International*, 137, 109664. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109664>
- Amato, I. & Carroll, L.** (1999). *Nanotechnology: shaping the world atom by atom*. National Science and Technology Council, Committee on Technology.
- Arnaldi, S.** (2014). Introduction: Nanotechnologies and the quest for responsibility. In S. Arnaldi, Ferrari, A., Magaudda, P., Marin, F. (Ed.), *Responsability in nanotechnology development*. New York: Springer Science.
- Barakat, N., & Jiao, H.** (2010). Proposed Strategies for Teaching Ethics of Nanotechnology. *NanoEthics*, 4(3), 221-228. doi: <https://doi.org/10.1007/s11569-010-0100-0>
- Bawa, R., & Johnson, S.** (2007). The Ethical Dimensions of Nanomedicine. *Medical Clinics of North America*, 91(5), 881-887. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2007.05.007>
- Bawa, R., & Johnson, S.** (2009). Emerging issues in nanomedicine and ethics. In *Nanotechnology & Society* (pp. 207-223): Springer.
- Bennett-Woods, D.** (2008). *Nanotechnology. Ethics and society*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Berne, R. W.** (2004). Towards the conscientious development of ethical nanotechnology. *Science and Engineering Ethics*, 10(4), 627-638.
- Berne, R. W., & Schummer, J.** (2005). Teaching societal and ethical implications of nanotechnology to engineering students through science fiction. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 25(6), 459-468.
- Berube, D.** (2011). Decision ethics and emergent technologies: The case of nanotechnology. *European Journal of Law and Technology*, 2(3).

- Bhattacharya, K., Andón, F. T., El-Sayed, R., & Fadeel, B. (2013).** Mechanisms of carbon nanotube-induced toxicity: Focus on pulmonary inflammation. *Adv Drug Deliv Rev*, 65(15), 2087-2097. doi:<https://doi.org/10.1016/j.addr.2013.05.012>
- Bhattacharya, K., Mukherjee, S. P., Gallud, A., Burkert, S. C., Bistarelli, S., Bellucci, S., Fadeel, B. (2016).** Biological interactions of carbon-based nanomaterials: From coronation to degradation. *Nanomedicine*, 12(2), 333-351. doi:[10.1016/j.nano.2015.11.011](https://doi.org/10.1016/j.nano.2015.11.011)
- Boisseau, P., & Loubaton, B. (2011).** Nanomedicine, nanotechnology in medicine. *Comptes Rendus Physique*, 12(7), 620-636. doi:[10.1016/j.crhy.2011.06.001](https://doi.org/10.1016/j.crhy.2011.06.001)
- Brune, H., Ernst, H., Grunwald, A., Grünwald, W., Hofman, H., Krug, H., Janich, P., Mayor, M., Rathgeber, W., Schmid, G., Simon, U., Vogel, V., Wuyrwa, D. (2010).** *Nanotechnology. Assessment and Perspectives*. Germany: Springer.
- Castro, J. (2016).** Ética y bioética: límites y alcances. *Revista de bioética latinoamericana*, 17, 75-96.
- Cerqueira, B. B. S., Lasham, A., Shelling, A. N., & Al-Kassas, R. (2017).** Development of biodegradable PLGA nanoparticles surface engineered with hyaluronic acid for targeted delivery of paclitaxel to triple negative breast cancer cells. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, 76, 593-600. doi:<https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.121>
- Chaichi, A., Sheikh, E., Mukhopadhyay, S., & Gartia, M. R. (2021).** Trends in Nanotechnology Development in Medical Applications. In *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*: Elsevier.
- Chung, H.-J., Kim, H.-J., & Hong, S.-T. (2020).** Tumor-specific delivery of a paclitaxel-loading HSA-haemin nanoparticle for cancer treatment. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 23, 102089. doi:<https://doi.org/10.1016/j.nano.2019.102089>
- Conti, J., Satterfield, T., & Harthorn, B. H. (2011).** Vulnerability and social justice as factors in emergent U.S. nanotechnology risk perceptions. *Risk Anal*, 31(11), 1734-1748. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2011.01608.x>
- Coyle, S., & Diamond, D. (2010).** Smart nanotextiles: materials and their application.
- Cunha, T., & Garrafa, V. (2016).** Vulnerability. *Camb Q Healthc Ethics*, 25(2), 197-208. doi: <https://doi.org/10.1017/S096318011500050X>
- Dalton -Brown, S. (2012).** Global Ethics and Nanotechnology: A Comparison of the Nanoethics Environments of the EU and China. *NanoEthics*, 6(2), 137-150. doi: <https://doi.org/10.1007/s11569-012-0146-2>
- Danie Kingsley, J., Ranjan, S., Dasgupta, N., & Saha, P. (2013).** Nanotechnology for tissue engineering: Need, techniques and appli-

- cations. *Journal of Pharmacy Research*, 7(2), 200-204. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jopr.2013.02.021>
- Delgado -Ramos**, G. C. (2014). Nanotechnology in Mexico: Global trends and national implications for policy and regulatory issues. *Technology in Society*, 37, 4-15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2013.09.005>
- Devi**, K. P., & Chaturvedi, H. (2021). Chapter 9 - An overview of nanotechnology in water treatment applications and combating climate change. In B. Thokchom, P. Qiu, P. Singh, & P. K. Iyer (Eds.), *Water Conservation in the Era of Global Climate Change* (pp. 191-212): Elsevier.
- Dinparvar**, S., Bagirova, M., Allahverdiyev, A. M., Abamor, E. S., Safarov, T., Aydogdu, M., & Aktas, D. (2020). A nanotechnology-based new approach in the treatment of breast cancer: Biosynthesized silver nanoparticles using *Cuminum cyminum* L. seed extract. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 208, 111902. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111902>
- Dong**, Y., Wu, X., Chen, X., Zhou, P., Xu, F., & Liang, W. (2021). Nanotechnology shaping stem cell therapy: Recent advances, application, challenges, and future outlook. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 137, 111236. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111236>
- du Toit**, L. C., Kumar, P., Choonara, Y. E., & Pillay, V. (2018). 10 - Use of nanostructured materials in hard tissue engineering A2 - Narayan, Roger. In *Nanobiomaterials* (pp. 257-295): Woodhead Publishing.
- Ema**, M., Gamo, M., & Honda, K. (2016). A review of toxicity studies of single-walled carbon nanotubes in laboratory animals. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 74(Supplement C), 42-63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.11.015>
- Ershova**, E. S., Sergeeva, V. A., Chausheva, A. I., Zheglo, D. G., Nikitina, V. A., Smirnova, T. D., . . . Kostyuk, S. V. (2016). Toxic and DNA damaging effects of a functionalized fullerene in human embryonic lung fibroblasts. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 805, 46-57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2016.05.004>
- Escobar López**, M. T. (2012). Bioética mas allá del Principialismo. *Rev. latinoam. bioét*, 6-9.
- European Commission**. (2021). Internal market, industry, entrepreneurship and SME. Retrieved from https://ec.europa.eu/growth/sectors/chemicals/reach/nanomaterials_en
- Ferrari**, A. (2014). Responsibility and visions in the new and emerging technologies. In S. Arnaldi, Ferrari, A., Magaouda, P., Marin. F. (Ed.), *Responsability in nanotechnology development*. New York: Springer Science
- Feynman**, R. (1959). Plenty of Room at the Bottom. Retrieved from https://web.pa.msu.edu/people/yang/RFeynman_plentySpace.pdf

- Foladori, G.,** Bejarano, F., Invernizzi, N. (2013). Nanotecnología: gestión y reglamentación de riesgos para la salud y medio ambiente en América Latina y el Caribe. *Trab. Educ. Saúde*, 11(1), 145-167.
- Ghorbani, F.,** Kokhaei, P., Ghorbani, M., & Eslami, M. (2020). Application of different nanoparticles in the diagnosis of colorectal cancer. *Gene Reports*, 21, 100896. doi: <https://doi.org/10.1016/j.genrep.2020.100896>
- Glenn, J. C.** (2006). Nanotechnology: Future military environmental health considerations. *Technological Forecasting and Social Change*, 73(2), 128-137. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.06.010>
- Gorbet, M.-J.,** & Ranjan, A. (2020). Cancer immunotherapy with immunoadjuvants, nanoparticles, and checkpoint inhibitors: Recent progress and challenges in treatment and tracking response to immunotherapy. *Pharmacology & Therapeutics*, 207, 107456. doi:<https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2019.107456>
- Grall, R.,** Girard, H., Saad, L., Petit, T., Gesset, C., Combis-Schlumberger, M., . . . Chevillard, S. (2015). Impairing the radioresistance of cancer cells by hydrogenated nanodiamonds. *Biomaterials*, 61, 290-298. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2015.05.034>
- Groves, C.** (2009). Nanotechnology, Contingency and Finitude. *NanoEthics*, 3(1), 1-16. doi: <https://doi.org/10.1007/s11569-009-0057-z>
- Harik, V. M.** (2017). Geometry of carbon nanotubes and mechanisms of phagocytosis and toxic effects. *Toxicology Letters*, 273(Supplement C), 69-85. doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2017.03.016>
- Hasan, A.,** Saliba, J., Pezeshgi Modarres, H., Bakhaty, A., Nasajpour, A., Mofrad, M. R. K., & Sanati-Nezhad, A. (2016). Micro and nanotechnologies in heart valve tissue engineering. *Biomaterials*, 103(Supplement C), 278-292. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2016.07.001>
- Have, H.** (2007). *Nanotechnology, ethics and politics*. Paris France: UNESCO Publishing.
- He, X.,** Deng, H., & Hwang, H.-m. (2019). The current application of nanotechnology in food and agriculture. *Journal of Food and Drug Analysis*, 27(1), 1-21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.12.002>
- Huang, Z.,** Qiu, L., Zhang, T., & Tan, W. (2021). Integrating DNA Nanotechnology with Aptamers for Biological and Biomedical Applications. *Matter*, 4(2), 461-489. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matt.2020.11.002>
- Hunt, G.** (2008). The global ethics of nanotechnology. In G. Hunt, Mehta, M. (Ed.), *Nanotechnology. Risk, ethics and law*. Taylor & Francis Group.
- Indoria, S.,** Singh, V., & Hsieh, M.-F. (2020). Recent advances in theranostic polymeric nanoparticles for cancer treatment: A review. *International Journal of Pharmaceutics*, 582, 119314. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.119314>

- Joubert, I. A., Geppert, M., Ess, S., Nestelbacher, R., Gadermaier, G., Duschl, A., . . . Himly, M. (2020).** Public perception and knowledge on nanotechnology: A study based on a citizen science approach. *NanoImpact*, *17*, 100201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.impact.2019.100201>
- Jung, H. J., & Lee, J. J. (2014).** The impacts of science and technology policy interventions on university research: Evidence from the U.S. National Nanotechnology Initiative. *Research Policy*, *43*(1), 74-91. doi: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.07.001>
- Justo -Hanani, R., & Dayan, T. (2015).** European risk governance of nanotechnology: Explaining the emerging regulatory policy. *Research Policy*, *44*(8), 1527-1536. doi: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.05.001>
- Kamarulzaman, N. A., Lee, K. E., Siow, K. S., & Mokhtar, M. (2020).** Public benefit and risk perceptions of nanotechnology development: Psychological and sociological aspects. *Technology in Society*, *62*, 101329. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101329>
- Kay, L., & Shapira, P. (2009).** Developing nanotechnology in Latin America. *J Nanopart Res*, *11*(2), 259-278. doi: <https://doi.org/10.1007/s11051-008-9503-z>
- Khan, A. S. (2014).** *Ethics and nanotechnology*. Paper presented at the 2014 IEEE International Symposium on Ethics in Science, Technology and Engineering.
- Krishna, V. D., Wu, K., Su, D., Cheeran, M. C. J., Wang, J.-P., & Perez, A. (2018).** Nanotechnology: Review of concepts and potential application of sensing platforms in food safety. *Food Microbiology*, *75*, 47-54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.01.025>
- Kühnel, D., Nickel, C., Hellack, B., van der Zalm, E., Kussatz, C., Herrchen, M., . . . Hund-Rinke, K. (2019).** Closing gaps for environmental risk screening of engineered nanomaterials. *NanoImpact*, *15*, 100173. doi: <https://doi.org/10.1016/j.impact.2019.100173>
- Kumar Das, P., Prava Das, B., & Dash, P. (2021).** Chapter 16 - Application of nanotechnology in the production of bioenergy from algal biomass: opportunities and challenges. In R. P. Kumar & B. Bharathiraja (Eds.), *Nanomaterials* (pp. 355-377): Academic Press.
- Kumar, S., & Foroozesh, J. (2021).** Chapter 5 - Application of nanotechnology in hydrocarbon reservoir exploration and characterization. In W. Ahmed, M. Booth, & E. Nourafkan (Eds.), *Emerging Nanotechnologies for Renewable Energy* (pp. 115-134): Elsevier.
- Larrere, C. (2010).** Ethics and nanotechnology: The issue of perfectionism. *HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry*, *16*(1), 19-30.
- Laudisio, A., Giannotti, C., Chiarella, I., Spitaleri, D., Ballestrero, A., Odetti, P., . . . Monacelli, F. (2020).** Social vulnerability is associated with increased mortality in older patients with cancer. *Journal of Geriatric Oncology*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jgo.2020.09.018>

- Lenk, C., & Biller-Andorno, N.** (2007). Nanomedicine-emerging or re-emerging ethical issues? A discussion of four ethical themes. *Med Health Care Philos*, 10(2), 173-184. doi: <https://doi.org/10.1007/s11019-006-9014-6>
- León Correa, F. J.** (2009). Principios para una bioética social. *Bioethikos*, 3(1), 18-25.
- Maagi, M. T., Lupyana, S. D., & Jun, G.** (2020). Nanotechnology in the petroleum industry: Focus on the use of nanosilica in oil-well cementing applications - A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 193, 107397. doi: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107397>
- Maddu, N.** (2021). 9 - Nanoparticle mediated diagnosis of clinical biomarkers of different diseases: a medical application of nanotechnology. In S. C. B. Gopinath & F. Gang (Eds.), *Nanoparticles in Analytical and Medical Devices* (pp. 155-173): Elsevier.
- Melchor -Alemán, M.-A., Mesta-Torres, L., & Martel-Estrada, S. A.** (2016). Aplicaciones de nanopartículas en textiles para el diseño de interiores. *Espacio I+D: Innovación más Desarrollo*, 5(10). doi: <https://doi.org/10.31644/IMASD.10.2016.a07>
- Michelson, E. S.** (2008). Globalization at the nano frontier: The future of nanotechnology policy in the United States, China, and India. *Technology in Society*, 30(3), 405-410. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2008.04.018>
- Miller, E. M., Samec, T. M., & Alexander-Bryant, A. A.** (2021). Nanoparticle delivery systems to combat drug resistance in ovarian cancer. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 31, 102309. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nano.2020.102309>
- Mohamed, J. M., Alqahtani, A., Ahmad, F., Krishnaraju, V., & Kalpana, K.** (2021). Pectin co-functionalized dual layered solid lipid nanoparticle made by soluble curcumin for the targeted potential treatment of colorectal cancer. *Carbohydrate Polymers*, 252, 117180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117180>
- Motoyama, Y., Appelbaum, R., & Parker, R.** (2011). The National Nanotechnology Initiative: Federal support for science and technology, or hidden industrial policy? *Technology in Society*, 33(1), 109-118. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2011.03.010>
- Nanosafety_Cluster.** (2021). Nanosafety Cluster. Retrieved from <https://www.nanosafetycluster.eu/>
- Nejabat, M., Eisvand, F., Soltani, F., Alibolandi, M., Mohammad Taghdisi, S., Abnous, K., . . . Ramezani, M.** (2020). Combination therapy using Smac peptide and doxorubicin-encapsulated MUC 1-targeted polymeric nanoparticles to sensitize cancer cells to chemotherapy: An in vitro and in vivo study. *International Journal of Pharmaceutics*, 587, 119650. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.119650>

- O'Mathúna, D.** (2007). Bioethics and biotechnology. *Cytotechnology*, 53, 113-119.
- Pang, Y., Su, L., Fu, Y., Jia, F., Zhang, C., Cao, X., . . . Qin, A.** (2021). Inhibition of furin by bone targeting superparamagnetic iron oxide nanoparticles alleviated breast cancer bone metastasis. *Bioactive Materials*, 6(3), 712-720. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2020.09.006>
- Pavitra, E., Dariya, B., Srivani, G., Kang, S.-M., Alam, A., Sudhir, P.-R., . . . Huh, Y. S.** (2019). Engineered nanoparticles for imaging and drug delivery in colorectal cancer. *Seminars in Cancer Biology*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2019.06.017>
- Roco, M. C., & Bainbridge, W. S.** (2007). Nanotechnology. *Societal Implications- Individual Perspectives*. Dordrecht: Springer.
- Rodríguez -Ramos, R., Santana-Mayor, Á., Socas-Rodríguez, B., & Rodríguez-Delgado, M. Á.** (2021). Chapter 19 - Novel applications of nanotechnology in food safety assessment. In W. J. Lau, K. Faungnawakij, K. Piyachomkwan, & U. R. Ruktanonchai (Eds.), *Handbook of Nanotechnology Applications* (pp. 461-505): Elsevier.
- Rogotneva, E. N., Melik-Haikazyan, I., & Goncharenko, M.** (2015). Bioethics: Negotiation of Fundamental Differences in Russian and US Curricula. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 215, 26-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.569>
- Sahani, S., & Sharma, Y. C.** (2021). Advancements in applications of nanotechnology in global food industry. *Food Chemistry*, 342, 128318. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128318>
- Salama, D. M., Abd El-Aziz, M. E., Rizk, F. A., & Abd Elwahed, M. S. A.** (2021). Applications of nanotechnology on vegetable crops. *Chemosphere*, 266, 129026. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129026>
- Salamanca -Buentello, F., & Daar, A. S.** (2021). Nanotechnology, equity and global health. *Nature Nanotechnology*, 16(4), 358-361. doi: <https://doi.org/10.1038/s41565-021-00899-z>
- Saleh, T. A.** (2020). Trends in the sample preparation and analysis of nanomaterials as environmental contaminants. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 28, e00101. doi: <https://doi.org/10.1016/j.teac.2020.e00101>
- Schulte, P. A., & Salamanca-Buentello, F.** (2007). Ethical and scientific issues of nanotechnology in the workplace. *Environ Health Perspect*, 115(1), 5-12. doi: <https://doi.org/10.1289/ehp.9456>
- Shajkumar, A.** (2015). Chapter 17 - Future of Nanotechnology in Tissue Engineering A2 - Thomas, Sabu. In Y. Grohens & N. Ninan (Eds.), *Nanotechnology Applications for Tissue Engineering* (pp. 289-306). Oxford: William Andrew Publishing.
- Shim, M. K., Moon, Y., Yang, S., Kim, J., Cho, H., Lim, S., . . . Kim, K.** (2020). Cancer-specific drug-drug nanoparticles of pro-apoptotic and cathepsin B-cleavable peptide-conjugated doxorubicin for drug-

- resistant cancer therapy. *Biomaterials*, 261, 120347. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2020.120347>
- Shukla**, S. K., Anusha, J., Ramaiya, H., Lee, J., & Sadeq, H. A. (2021). Chapter 7 - Application of nanotechnology in membrane-based wastewater treatment: a critical review. In M. P. Shah & S. Rodriguez-Couto (Eds.), *Membrane-Based Hybrid Processes for Wastewater Treatment* (pp. 119-145): Elsevier.
- Singha**, I., & Kumar Mishrab, P. (2020). Nano-membrane Filtration a Novel Application of Nanotechnology for Waste Water Treatment. *Materials Today: Proceedings*, 29, 327-332. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.284>
- Siurana Aparisi**, J. C. (2010). Los principios de la bioética y el surgimiento de una bioética intercultural. *Veritas*, 121-157. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-92732010000100006&nrm=iso
- Soltani**, A. M., & Pouypouy, H. (2019). Chapter 19 - Standardization and Regulations of Nanotechnology and Recent Government Policies Across the World on Nanomaterials. In M. Ghorbanpour & S. H. Wani (Eds.), *Advances in Phytonanotechnology* (pp. 419-446): Academic Press.
- Stapleton**, A., Cintora, A., De Anda, C., Fitzgibbon, M. (2014). How can Science Produce Unequal Relationships: The Nanotechnology Metaphor. *Proceedings of the 19th World Congress. The International Federation of Automatic Control*, 11431-11436.
- ten Have**, H. (2015). Respect for Human Vulnerability: The Emergence of a New Principle in Bioethics. *J Bioeth Inq*, 12(3), 395-408. doi: <https://doi.org/10.1007/s11673-015-9641-9>
- Umbrello**, S., & Baum, S. D. (2018). Evaluating future nanotechnology: The net societal impacts of atomically precise manufacturing. *Futures*, 100, 63-73. doi: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2018.04.007>
- UNESCO**. (2005). Declaración universal sobre Bioética y Derechos Humanos. Retrieved from http://portal.unesco.org/es/ev.php-URL_ID=31058&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html
- UNESCO**. (2012). El día de la justicia social. Retrieved from http://www.unesco.org/new/es/media-services/single-view/news/world_day_of_social_justice/
- van de Poel**, I. (2008). How Should We Do Nanoethics? A Network Approach for Discerning Ethical Issues in Nanotechnology. *NanoEthics*, 2(1), 25-38. doi: <https://doi.org/10.1007/s11569-008-0026-y>
- Vasantha**, V. L., Sharvari, S., Alfia, N. S., & Praveen, N. (2021). Chapter 22 - Application of nanotechnology toward improved production of sustainable bioenergy. In R. P. Kumar & B. Bharathiraja (Eds.), *Nanomaterials* (pp. 445-479): Academic Press.

- Wang, D. K., Rahimi, M., & Filgueira, C. S. (2021).** Nanotechnology applications for cardiovascular disease treatment: Current and future perspectives. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, *34*, 102387. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nano.2021.102387>
- Wetmore, J. M., & Posner, J. D. (2009).** Should corporations contribute to nano-regulation? *Nano Today*, *4*(3), 217-219. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2009.03.002>
- Wu, D., Shou, X., Zhang, Y., Li, Z., Wu, G., Wu, D., . . . Wang, S. (2020).** Cell membrane-encapsulated magnetic nanoparticles for enhancing natural killer cell-mediated Cancer immunotherapy. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 102333. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nano.2020.102333>
- Xu, X., Li, L., Li, X., Tao, D., Zhang, P., & Gong, J. (2020).** Aptamer-protamine-siRNA nanoparticles in targeted therapy of ErbB3 positive breast cancer cells. *International Journal of Pharmaceutics*, *590*, 119963. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.119963>
- Yang, L.-Y., Gao, J.-L., Gao, T., Dong, P., Ma, L., Jiang, F.-L., & Liu, Y. (2016).** Toxicity of polyhydroxylated fullerene to mitochondria. *J Hazard Mater*, *301*(Supplement C), 119-126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.08.046>
- Zhang, T., Cui, H., Fang, C. Y., Cheng, K., Yang, X., Chang, H. C., & Forrest, M. L. (2015).** Targeted nanodiamonds as phenotype-specific photoacoustic contrast agents for breast cancer. *Nanomedicine*, *10*(4), 573-587. doi: <https://doi.org/10.2217/nnm.14.141>
- Zhao, Y., Pu, M., Wang, Y., Yu, L., Song, X., & He, Z. (2021).** Application of nanotechnology in acute kidney injury: From diagnosis to therapeutic implications. *Journal of Controlled Release*, *336*, 233-251. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2021.06.026>
- Zhou, S., Li, D., Lee, C., & Xie, J. (2020).** Nanoparticle Phototherapy in the Era of Cancer Immunotherapy. *Trends in Chemistry*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trechm.2020.09.008>
- Zhu, S., Luo, F., Tu, X., Chen, W.-C., Zhu, B., & Wang, G.-X. (2017).** Developmental toxicity of oxidized multi-walled carbon nanotubes on *Artemia salina* cysts and larvae: Uptake, accumulation, excretion and toxic responses. *Environmental Pollution*, *229*(Supplement C), 679-687. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.020>
- Zullo, S. (2014).** Features of intergenerational moral responsibility in the age of the emerging technologies. In S. Arnaldi, Ferrari, A., Magaudo, P., Marin, F. (Ed.), *Responsability in nanotechnology development*. New York: Springer Science.