



PEQUEÑAS PARTÍCULAS, GRANDES RIESGOS: IMPLEMENTACIÓN DE REGULACIONES EN NANOMATERIALES EN COSTA RICA Y LA IMPORTANCIA DE GARANTIZAR LA SEGURIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE UNA TECNOLOGÍA EMERGENTE

José Roberto Vega Baudrit
y Melissa Camacho Elizondo

RESUMEN

El uso de nanomateriales en diversas áreas de la tecnología ha generado un gran entusiasmo por sus potenciales beneficios. Sin embargo, también existe preocupación sobre los posibles efectos negativos en la salud y el medio ambiente. En Costa Rica, la implementación de regulaciones en nanomateriales es esencial para garantizar la seguridad y sostenibilidad de esta tecnología emergente. Estas regulaciones pueden minimizar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente, fomentar la innovación responsable y mejorar la imagen de Costa Rica como un país comprometido con el desarrollo sostenible. Además, la implementación de regulaciones puede ser una oportunidad para la cooperación regional e internacional en materia de seguridad y medio ambiente. La cooperación internacional en la evaluación de riesgos y la armonización de regulaciones puede reducir los costos y mejorar la eficacia de las regulaciones. De este ensayo se concluye que la implementación de regulaciones en nanomateriales en Costa Rica es una necesidad para garantizar la seguridad y sostenibilidad de esta tecnología emergente, y puede ser una oportunidad para mejorar la competitividad del país en el mercado global.

Palabras clave: nanotecnología, regulaciones, nanomaterial, LANOTEC, materiales

ABSTRACT

The use of nanomaterials in various areas of technology has generated great enthusiasm for their potential benefits. However, there is also concern about the possible negative effects on health and the environment. In Costa Rica, implementing regulations on nanomaterials is essential to ensure the safety and sustainability of this emerging technology. These regulations can minimize risks to human health and the environment, promote responsible innovation, and improve Costa Rica's image as a country committed to sustainable development. Additionally, implementing regulations can be an opportunity for regional and international cooperation on safety and environmental issues. International collaboration in risk assessment and regulation harmonization can reduce costs and improve the effectiveness of regulations. This essay concludes that implementing regulations on nanomaterials in Costa Rica is necessary to ensure the safety and sustainability of this emerging technology and can be an opportunity to improve the country's competitiveness in the global market.

Keywords: nanotechnology, regulations, nanomaterial, LANOTEC, materials

José Roberto Vega Baudrit es Coordinador del LANOTEC CENAT del CONARE e investigador catedrático en la Escuela de Química de la Universidad Nacional de Costa Rica.

Melissa Camacho Elizondo es Química e Investigadora. Coordinadora de Gestión de Calidad del Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LANOTEC), adscrito al Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT).

INTRODUCCIÓN

La nanotecnología y los nanomateriales son dos áreas de gran interés en la ciencia y la tecnología moderna. La nanotecnología es la ciencia que estudia los materiales y sistemas en una escala de tamaño de nanómetros, mientras que los nanomateriales son materiales con dimensiones en el rango de nanómetros. Estas áreas han generado un gran entusiasmo debido a las múltiples aplicaciones que se les puede dar, desde la medicina hasta la electrónica. Sin embargo, también existen preocupaciones acerca de los posibles efectos negativos que estos materiales pueden tener en la salud y el medio ambiente.

La nanotecnología se ha convertido en un campo de gran interés debido a su potencial para crear materiales y dispositivos que no se pueden producir con los métodos convencionales. La reducción en la escala de los materiales permite a los investigadores manipular la estructura y las propiedades de los materiales a un nivel muy preciso. Esto ha permitido la creación de materiales más fuertes, más livianos y más resistentes al desgaste, entre otros avances.

Los nanomateriales son uno de los productos más comunes de la nanotecnología. Estos materiales tienen dimensiones que van desde unos pocos nanómetros hasta cientos de nanómetros. Están disponibles en diferentes formas, incluyendo partículas, fibras, láminas y películas. Debido a su tamaño pequeño, los nanomateriales pueden tener propiedades diferentes a las de sus homólogos de tamaño convencional. Por ejemplo, las partículas de tamaño nanométrico tienen una mayor área superficial en comparación con las partículas de tamaño convencional, lo que les da propiedades únicas.

Los nanomateriales se han utilizado en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la medicina, la electrónica, la energía y la construcción. En medicina, los nanomateriales se utilizan para la entrega de medicamentos y para la detección y tratamiento de enfermedades. En la electrónica, los nanomateriales se utilizan para la fabricación de dispositivos como transistores y sensores. En la energía, se utilizan para mejorar la eficiencia de las celdas solares y las baterías. En la construcción, los nanomateriales se utilizan para mejorar la resistencia y la durabilidad de los materiales de construcción.

Sin embargo, a pesar de los beneficios potenciales de los nanomateriales, también existen preocupaciones

acerca de su impacto en la salud y el medio ambiente. Los nanomateriales pueden penetrar en los tejidos del cuerpo humano y afectar a los órganos, como los pulmones y el cerebro. También pueden tener un impacto en los organismos en el medio ambiente, como los animales y las plantas. Por lo tanto, es importante que se realice una evaluación rigurosa de los riesgos y beneficios de los nanomateriales antes de su comercialización.

La regulación de los nanomateriales es un tema muy importante y ha sido objeto de debate en todo el mundo. Los reguladores están trabajando en el desarrollo de políticas y estándares para garantizar la seguridad y la sostenibilidad de los nanomateriales. En la Unión Europea, por ejemplo, se han establecido regulaciones para el registro, la evaluación y la autorización de los nanomateriales en virtud del Reglamento REACH (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas) (European Agency for Safety and Health at Work). Estas regulaciones exigen que los fabricantes y proveedores de nanomateriales proporcionen información sobre sus propiedades y riesgos para la salud y el medio ambiente, y que se realice una evaluación de riesgos antes de su comercialización. Otros países, como Estados Unidos y Japón, también están trabajando en la regulación de los nanomateriales.

Además de la regulación, también es importante la investigación continua sobre los efectos de los nanomateriales en la salud y el medio ambiente. Los investigadores deben trabajar para determinar los posibles riesgos asociados con los nanomateriales y para desarrollar estrategias para minimizar estos riesgos. También deben trabajar para identificar las aplicaciones más prometedoras de los nanomateriales y para desarrollar técnicas de fabricación más seguras y sostenibles.

De este ensayo se concluye que la nanotecnología y los nanomateriales son dos áreas de gran interés y potencial en la ciencia y la tecnología moderna, pero también existen preocupaciones acerca de sus posibles efectos negativos en la salud y el medio ambiente. Por lo tanto, es importante que se realice una apreciación inflexible de los riesgos y beneficios de los nanomateriales antes de su comercialización y que se regulen de manera efectiva para garantizar la seguridad y la sostenibilidad. Con una combinación adecuada de regulación y investigación, la nanotecnología y los

nanomateriales pueden tener un impacto positivo en la sociedad y en el medio ambiente. En este ensayo se discutirá la importancia de la implementación de normas y regulaciones en nanomateriales en Costa Rica.

¿POR QUÉ DEBE REGULARSE LA NANOTECNOLOGÍA?

Los nanomateriales y su impacto en la salud y el medio ambiente

Los nanomateriales tienen propiedades únicas que les confieren ventajas en aplicaciones tecnológicas, pero también pueden presentar riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Los estudios han demostrado que algunos nanomateriales pueden penetrar la piel y las barreras biológicas del cuerpo humano, lo que puede provocar efectos tóxicos y daños en el ADN. También se ha demostrado que los nanomateriales pueden acumularse en los organismos y en el medio ambiente, lo que puede tener efectos dañinos en la fauna y la flora (Oberdörster, *et al.*, 2005) (Adelere, *et al.*, 2016) (Zhang, *et al.*, 2008).

Además, los nanomateriales pueden tener efectos inesperados en el medio ambiente, como la modificación de las propiedades del suelo y el agua. Por ejemplo, algunos nanomateriales pueden alterar la capacidad de los microorganismos para descomponer la materia orgánica, lo que puede tener efectos perjudiciales en la calidad del agua y del suelo (Mueller *et al.*, 2008) (Montes de Oca *et al.*, 2020) (Montes de Oca *et al.*, 2020).

Regulaciones en nanomateriales

La producción y uso de nanomateriales se encuentra en una etapa temprana, y la mayoría de los países no tienen regulaciones específicas sobre su producción y uso. Sin embargo, algunos países como Estados Unidos y la Unión Europea han implementado regulaciones específicas para los nanomateriales. Estas regulaciones buscan minimizar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente al tiempo que fomentan el desarrollo de la tecnología de nanomateriales.

En Costa Rica, la producción y uso de nanomateriales está en una etapa temprana y no hay regulaciones específicas para su producción y uso. Sin embargo, Costa Rica tiene un marco legal sólido para la protección del medio ambiente y la salud humana, y algunas de estas regulaciones pueden aplicarse a los nanomateriales. Por ejemplo, la Ley de Salud establece requisitos

para el registro y la evaluación de productos químicos, y estos requisitos pueden aplicarse a los nanomateriales. De manera similar, otras leyes para la conservación de la biodiversidad, podrían ser una alternativa para aplicarse a la producción y uso de nanomateriales.

Importancia de la implementación de regulaciones en nanomateriales en Costa Rica

Como se observa en la Figura 1, la implementación de regulaciones específicas para los nanomateriales en Costa Rica es crucial por diversas razones. En primer lugar, estas regulaciones permitirían minimizar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente al asegurar que los nanomateriales se produzcan y utilicen de manera segura y responsable. Al establecer requisitos rigurosos para el registro, evaluación, autorización y etiquetado de los nanomateriales, las regulaciones pueden garantizar que se cumplan elevados estándares de seguridad y que los consumidores estén adecuadamente informados sobre los riesgos y beneficios de los productos que contienen nanomateriales.

También puede impulsar la innovación y el desarrollo responsable de esta tecnología emergente en Costa Rica. Al proporcionar un marco regulatorio claro, transparente y coherente, las empresas que producen y utilizan nanomateriales pueden estar seguras de que están cumpliendo con los requisitos de seguridad y medioambientales, lo que puede aumentar la confianza de los consumidores y los inversores. Además, las regulaciones pueden incentivar a las empresas a invertir en investigación y desarrollo de nanomateriales seguros y sostenibles, lo que puede conducir a una economía más innovadora y competitiva en Costa Rica.

La implementación también puede mejorar la imagen y reputación de Costa Rica como un país comprometido con el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente y la salud humana. Al ser uno de los primeros países en implementar regulaciones específicas para los nanomateriales, Costa Rica puede demostrar su liderazgo en el desarrollo de tecnologías sostenibles y responsables. Además, esto puede atraer a empresas y consumidores que buscan productos y servicios que sean seguros y sostenibles.

También, la adopción de regulaciones en nanomateriales puede facilitar la cooperación internacional en temas relacionados con la nanotecnología, alineando las políticas de Costa Rica con las de otros países y

organismos internacionales. Esto permitiría a Costa Rica participar activamente en el intercambio de información, la colaboración en investigación y el establecimiento de estándares globales para la nanotecnología, lo cual es fundamental para garantizar un desarrollo sostenible y responsable de esta tecnología a nivel mundial.

La nanotecnología es un campo relativamente nuevo y aún no se comprenden completamente sus implicaciones a largo plazo para la salud humana y el medio ambiente. Al implementar regulaciones específicas para los nanomateriales, Costa Rica puede establecer medidas preventivas y protocolos de monitoreo que permitan identificar y abordar posibles riesgos emergentes antes de que causen daños irreversibles. Esto es especialmente importante debido al potencial de los nanomateriales para acumularse en el medio ambiente y en los organismos vivos, lo que podría tener efectos adversos aún desconocidos.

Finalmente, puede impulsar la creación de programas educativos y de formación en este campo, tanto en el ámbito académico como en el industrial. Al establecer requisitos de capacitación y certificación para los profesionales que trabajan con nanomateriales, las regulaciones pueden garantizar que los investigadores, técnicos y otros profesionales cuenten con las habilidades y conocimientos necesarios para manejar y aplicar la nanotecnología de manera segura y responsable. Además, esto contribuiría al desarrollo de una fuerza laboral altamente capacitada y especializada en Costa Rica, lo que podría atraer más inversiones y fomentar la creación de empleo en el sector de la nanotecnología.

FIGURA 1. IMPORTANCIA DE REALIZAR REGULACIONES PARA NANOMATERIALES EN COSTA RICA



Desafíos en la implementación de regulaciones en nanomateriales en Costa Rica

A pesar de los beneficios de la implementación de regulaciones en nanomateriales en Costa Rica, hay varios desafíos que deben superarse para implementar con éxito estas regulaciones. Uno de los principales desafíos es la falta de conocimiento y capacidad técnica en la evaluación de riesgos de los nanomateriales. La evaluación de riesgos de los nanomateriales es un proceso complejo que requiere conocimientos especializados en ciencias de materiales, toxicología, ecotoxicología y análisis de riesgos. Por lo tanto, se requeriría una inversión significativa en la capacitación de los reguladores y los expertos técnicos para evaluar adecuadamente los riesgos de los nanomateriales.

Otro desafío es la falta de datos sobre los efectos a largo plazo de los nanomateriales en la salud y el medio ambiente. Como se indicó, los nanomateriales son una tecnología emergente, y aún se están realizando estudios para determinar su impacto en la salud y el medio ambiente a largo plazo. Por lo tanto, la implementación de regulaciones en nanomateriales debe ser flexible y adaptable para poder integrar nuevos conocimientos científicos a medida que estén disponibles.

Finalmente, la implementación también puede ser costosa para las empresas y el gobierno. La implementación de regulaciones específicas para los nanomateriales puede requerir la realización de estudios de seguridad y ambientales, el registro y la etiquetación de los productos, y la implementación de controles de calidad y seguridad. Estos costos adicionales pueden afectar la competitividad de las empresas en el mercado global y pueden requerir inversiones significativas del gobierno en la implementación y aplicación de las regulaciones.

Otros desafíos: aspectos laborales, de cooperación internacional y educación

La implementación de regulaciones específicas para los nanomateriales en Costa Rica también puede ayudar a abordar algunos de los desafíos sociales y económicos del país. Por ejemplo, la implementación de regulaciones puede mejorar la salud y la seguridad de los trabajadores que producen y utilizan nanomateriales, lo que puede reducir el riesgo de enfermedades y accidentes laborales. Además, las regulaciones pueden proteger la biodiversidad y los ecosistemas, lo que es esencial para la economía del país, que depende en gran medida del turismo y la agricultura.

La implementación también puede ser una oportunidad para la cooperación regional e internacional en materia de seguridad y medio ambiente. Costa Rica es un líder regional en la protección del medio ambiente y la promoción del desarrollo sostenible, y la implementación de regulaciones en nanomateriales puede ser un ejemplo para otros países de la región y del mundo. La cooperación regional e internacional en la evaluación de riesgos, el intercambio de información y la armonización de regulaciones también puede ayudar a minimizar los costos y mejorar la eficacia de las regulaciones.

Además, es importante destacar que las regulaciones en nanomateriales no deben verse como un obstáculo para el desarrollo y la innovación en esta área. Por el contrario, las regulaciones pueden fomentar la innovación responsable al incentivar la investigación y el desarrollo de nanomateriales seguros y sostenibles. Las empresas y los investigadores que trabajan en nanomateriales pueden utilizar las regulaciones como un marco para el desarrollo de nuevos productos y tecnologías, lo que puede mejorar su competitividad en el mercado global.

Otro aspecto importante de la implementación de regulaciones en nanomateriales es la educación y concientización de la sociedad sobre los riesgos y beneficios de esta tecnología emergente. La falta de información y la falta de comprensión sobre los nanomateriales pueden generar temores y desconfianza en la sociedad, lo que puede afectar la aceptación y adopción de esta tecnología. Por lo tanto, la implementación de regulaciones en nanomateriales debe ir acompañada de programas de educación y concientización para informar a la sociedad sobre los riesgos y beneficios de esta tecnología.

Además, es importante destacar que la implementación de regulaciones en nanomateriales debe ser un proceso dinámico y adaptable. Los nanomateriales son una tecnología emergente y aún se están realizando investigaciones para determinar su impacto en la salud y el medio ambiente a largo plazo. Por lo tanto, las regulaciones en nanomateriales deben ser flexibles y estar abiertas a la revisión y actualización a medida que se disponga de nueva información científica. Además, es importante que la regulación en nanomateriales sea coherente con otras regulaciones y

políticas de Costa Rica, como la protección del medio ambiente y la salud humana.

Otro desafío importante en la implementación de regulaciones en nanomateriales es la necesidad de cooperación y coordinación entre los países. Los nanomateriales son una tecnología global, y la implementación de regulaciones específicas en un solo país puede tener efectos en otros países. Por lo tanto, es importante que los países trabajen juntos para armonizar las regulaciones en nanomateriales y compartir información sobre los riesgos y beneficios de esta tecnología. Además, la cooperación internacional en la evaluación de riesgos y la armonización de regulaciones puede reducir los costos y mejorar la eficacia de las regulaciones.

Las nanoregulaciones en Estados Unidos y América Latina

Estados Unidos cuenta con un marco regulatorio sólido para la nanotecnología, con múltiples agencias gubernamentales que colaboran para garantizar su uso seguro y responsable, cada una con un enfoque diferente en función de su ámbito de competencia. Las agencias más importantes que regulan la nanotecnología en los Estados Unidos son las siguientes:

- Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA): Regula la nanotecnología en productos alimentarios, productos farmacéuticos y cosméticos.
- Agencia de Protección Ambiental (EPA): Regula los riesgos ambientales de la nanotecnología y su impacto en el medio ambiente.
- Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA): Regula los riesgos laborales asociados con la exposición a nanomateriales en el lugar de trabajo.
- Comisión Federal de Comercio (FTC): Regula la publicidad y etiquetado de productos que contengan nanotecnología.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA): Regula la nanotecnología en la agricultura y la industria alimentaria.

Estas agencias colaboran en el marco de la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI, por sus siglas en inglés), un programa coordinado a nivel federal que promueve la investigación, el desarrollo y la aplicación segura de la nanotecnología (<https://www.nano.gov/>) y

hasta el momento no se conocen desastres asociados al mal manejo de nanomateriales.

En el caso de América Latina, la nanotecnología es un campo de desarrollo tecnológico estratégico con un amplio potencial. Casi todos los países latinoamericanos esperan mejorar la competitividad del país acelerando los pasos de la nanociencia y la nanotecnología. Desde que fue anunciada la Iniciativa Nacional de Nanotecnología de los Estados Unidos en 2000, casi todas las economías desarrolladas y en desarrollo han tratado de iniciar programas nacionales de nanotecnología. Actualmente, existen pocas regulaciones específicas para la nanotecnología en América Latina. Sin embargo, algunos países han comenzado a implementar medidas para controlar el uso y la aplicación de la tecnología.

Por ejemplo, recientemente en Argentina se ha creado la "Comisión Nacional de Actividades Espaciales", que es responsable de supervisar y regular las actividades relacionadas con la nanotecnología. Además, existe la Fundación Argentina de Nanotecnología - FAN. La fundación es una entidad dedicada a promover el desarrollo de proyectos y emprendimientos vinculados a la nanotecnología en Argentina. Esta se enfoca en difundir estos avances tecnológicos a los distintos sectores de la sociedad argentina, apuntando a integrar todas las áreas en las que la nanotecnología puede tener un impacto significativo. La Fundación busca consolidar a Argentina como un líder en el desarrollo y aplicación de la nanotecnología, marcando el camino hacia un futuro enriquecido por los avances en esta emocionante y prometedora área de investigación y desarrollo.

En Brasil, la industria debe cumplir con ciertos requisitos de seguridad antes de poder comercializar productos basados en nanotecnología. En México no hay una regulación en concreto acerca del desarrollo de la nanotecnología, sin embargo, se estableció la "Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados", la cual incluye algunas menciones para la nanotecnología. Además, en Colombia, se está promoviendo la creación de un marco regulatorio para la nanotecnología, así como la creación de un comité de expertos encargados de evaluar los riesgos y beneficios de la tecnología.

En general, aunque las regulaciones para la nanotecnología son aún limitadas en América Latina, se espera que en el futuro se implementen medidas más específicas y rigurosas para garantizar la seguridad y el uso responsable de esta tecnología.

Avances en Costa Rica sobre nanoregulación

Costa Rica ha estado trabajando activamente en la investigación y el desarrollo de nanotecnología a través de la creación del Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LANOTEC) en 2004. El país ha establecido un Comité Técnico Nacional, el CTN-060 de Nanotecnología, en colaboración con el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), para desarrollar una base técnica normativa para la creación de un marco legal nacional relacionado con la nanotecnología. Actualmente, se han desarrollado más de 40 normas técnicas en el tema de nanotecnología, que incluyen evaluación de riesgos, prácticas de salud y seguridad, y etiquetado voluntario, entre otros.

Asimismo, el país pertenece al comité ISO/TC 229 - NANOTECHNOLOGIES, que tiene la labor de la estandarización de los siguientes aspectos:

- Comprender y controlar la materia y los procesos a nivel nanométrico, típicamente, pero no exclusivamente, por debajo de los 100 nanómetros en una o más dimensiones, donde el inicio de los fenómenos dependientes del tamaño generalmente permite nuevas aplicaciones,
- Utilizar las propiedades de los materiales a escala nanométrica que difieren de las propiedades de los átomos, moléculas y materia a granel, para crear materiales, dispositivos y sistemas mejorados que exploten estas nuevas propiedades.

Las tareas específicas incluyen el desarrollo de normas para: terminología y nomenclatura; metrología e instrumentación, incluyendo especificaciones para materiales de referencia; metodologías de prueba; modelización y simulaciones; y prácticas de salud, seguridad y medio ambiente basadas en la ciencia.

Un estudio realizado por Cabello y Col., 2020, ha demostrado la necesidad de crear un modelo de regulación sostenible de la nanotecnología en Costa Rica para proteger al consumidor y proporcionar normativas específicas a los diferentes sectores productivos. Esto se debe a la posible toxicidad y aumento de la exposición a los nanomateriales. Por lo tanto, los esfuerzos realizados en el país en este tema son cruciales para garantizar la seguridad y sostenibilidad de la nanotecnología.

Además, en mayo de 2021, Costa Rica se convirtió en el país miembro número 38 de la Organización para la

Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), lo que concluyó el proceso de adhesión que comenzó en 2015. El LANOTEC forma parte del Grupo de Trabajo sobre Sustancias Químicas, Plaguicidas y Biotecnología, así como del subgrupo de trabajo Working Party on Manufactured Nanomaterials (WPMN-OCDE). Se promueve el debate sobre la valoración de los peligros y los riesgos de los nanomateriales, y se trabaja en la cooperación internacional en temas de salud humana y seguridad ambiental de los nanomateriales manufacturados.

En conclusión, Costa Rica está trabajando activamente en la regulación de la nanotecnología para garantizar su seguridad y sostenibilidad. El país ha establecido un Comité Técnico Nacional y ha desarrollado más de 40 normas técnicas en el tema de nanotecnología. Además, Costa Rica se ha unido a la OCDE y está trabajando en cooperación internacional para evaluar los peligros y riesgos de los nanomateriales. Todo esto demuestra el compromiso del país con el desarrollo sostenible y la seguridad de su población.

CONCLUSIONES

La implementación de regulaciones en nanomateriales en Costa Rica es esencial para garantizar la seguridad y sostenibilidad de esta tecnología emergente. Las regulaciones pueden minimizar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente, fomentar la innovación responsable y mejorar la imagen de Costa Rica como un país comprometido con el desarrollo sostenible. Sin embargo, la implementación de regulaciones también presenta desafíos, como la falta de conocimiento técnico y la necesidad de adaptarse a nuevos conocimientos científicos. La implementación de regulaciones en nanomateriales debe ser un proceso colaborativo y adaptable que involucre a las partes interesadas y que tenga en cuenta los desafíos y beneficios de esta tecnología emergente. En última instancia, la implementación de regulaciones en nanomateriales puede ser una oportunidad para mejorar la seguridad, la sostenibilidad y la competitividad de Costa Rica en el mercado global. Es importante que los reguladores, investigadores, empresas y la sociedad trabajen juntos para garantizar que los nanomateriales se produzcan y utilicen de manera segura y responsable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- European Agency for Safety and Health at Work. (s.f.). REACH: Reglamento de registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas. Recuperado el 7 de mayo de 2023, de <https://osha.europa.eu/es/themes/dangerous-substances/reach>
- Oberdörster, G., Oberdörster, E., & Oberdörster, J. (2005). Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultra-fine particles. *Environmental Health Perspectives*, 113(7), 823-839. <https://doi.org/10.1289/ehp.7339>
- Adelere, I. & Lateef, A. (2016). A novel approach to the green synthesis of metallic nanoparticles: the use of agro-wastes, enzymes, and pigments. *Nanotechnology Reviews*, 5(6), 567-587. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2016-0024>
- Zhang, L., Gu, F. X., Chan, J. M., Wang, A. Z., Langer, R. S., & Farokhzad, O. C. (2008). Nanoparticles in medicine: Therapeutic applications and developments. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 83(5), 761-769. <https://doi.org/10.1038/sj.cpt.6100400>
- Mueller, N. C., & Nowack, B. (2008). Exposure modeling of engineered nanoparticles in the environment. *Environmental Science & Technology*, 42(12), 4447-4453. <https://doi.org/10.1021/es7029637>
- Montes de Oca-Vásquez, G., Solano-Campos, F., Vega-Baudrit, J.R., López-Mondéjar, R., Odriozola, I., Vera, A., Moreno, J., & Bastida, F. (2020). Environmentally relevant concentrations of silver nanoparticles diminish soil microbial biomass but do not alter enzyme activities or microbial diversity. *Journal of Hazardous Materials*, 391, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122224>
- Montes de Oca, G., Solano-Campos, F., Vega-Baudrit, J.R., López, R., Vera, A., Moreno, J.L., & Bastida, F. (2020). Organic amendments exacerbate the effects of silver nanoparticles on microbial biomass and community composition of a semiarid soil. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140919>
- National Nanotechnology Initiative. (n.d.). Home. Retrieved June 12, 2023, from <https://www.nano.gov/>
- ISO/TC 229. (s.f.). Nanotechnologies. Recuperado el 7 de mayo de 2023, de <https://www.iso.org/committee/381983.html>
- Cabello, R., Vega-Baudrit, J., Zuluaga, R., & Gañán, P. (2020). A statistical approach to regulation of nanotechnology: Need, advantages and disadvantages. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 11, 14-32. doi: 10.4236/jbnb.2020.111002
- INTECO. (s.f.). INTECO. Recuperado el 7 de mayo de 2023, de <https://www.inteco.org/>