

**¿DE QUÉ MANERA INCIDE EL SECTOR DE LA NANOMEDICINA EN EL  
PROGRESO DE LAS CIRUGÍAS INVASIVAS Y EL USO DE PÍLDORAS?**

MANUELA JARAMILLO HOLGUÍN

Asesor

ANDRÉS FELIPE FORERO BELTRÁN

Ingeniero Físico con Maestría en Nanociencia y Nanotecnología

**COLEGIO MARYMOUNT MEDELLÍN**

**PROYECTO DE GRADO**

**2021-2022**

## Tabla de contenido

<b>Resumen.....</b>	<b>4</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>6</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>8</b>
<b>Justificación.....</b>	<b>10</b>
<b>Pregunta de investigación.....</b>	<b>12</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>12</b>
<b>Objetivo general.....</b>	<b>12</b>
<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>12</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>13</b>
<b>Marco teórico .....</b>	<b>16</b>
<b>1 Nanotecnología .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 Historia y definición.....</b>	<b>16</b>
<i>1.1.1 Aplicaciones de la Nanotecnología .....</i>	<i>17</i>
<b>1.2 ¿Qué es la Nanomedicina? .....</b>	<b>19</b>
<i>1.2.1 Repercusiones en la medicina .....</i>	<i>20</i>
<b>1.3 Cirugías invasivas .....</b>	<b>25</b>
<b>1.4 Píldoras tradicionales .....</b>	<b>25</b>
<b>1.5 Dispositivos mínimamente invasivos.....</b>	<b>27</b>
<b>1.6 Píldoras inteligentes.....</b>	<b>28</b>
<b>2 La Nanomedicina .....</b>	<b>30</b>
<b>2.1 Ventajas y desventajas de la Nanomedicina.....</b>	<b>30</b>
<b>2.2 Efectos de los dispositivos en las cirugías invasivas.....</b>	<b>31</b>

2.3 Efectos de las píldoras inteligentes en las tradicionales .....	33
<b>3 Progreso de la Nanomedicina .....</b>	<b>36</b>
3.1 Prospectiva científica y económica .....	36
3.2 Aplicación en Colombia.....	38
<b>Metodología .....</b>	<b>40</b>
1.1 Enfoque .....	40
1.2 Metodología cualitativa .....	40
1.3 Metodología cuantitativa.....	41
1.4 Instrumentos.....	41
1.5 Población y muestra.....	42
<b>Análisis de campo.....</b>	<b>44</b>
1.1 Organización de la información .....	44
1.1.1 Entrevistas .....	44
1.1.2 Encuestas.....	48
<b>Conclusiones .....</b>	<b>62</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>65</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>73</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1: estructura de una píldora inteligente .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 2: DLR MiroSurge.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 3: Conocimiento de la Nanomedicina desde un espectro global .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 4: Distribución porcentual sobre conocer alguna aplicación de la Nanomedicina...</b>	<b>50</b>
<b>Figura 5: Área de aplicación que conoce el experto .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 6: Perspectiva sobre el impacto de la Nanomedicina en la medicina globalmente...</b>	<b>52</b>
<b>Figura 7: Posibilidad de que la Nanomedicina pueda llegar a reemplazar las píldoras tradicionales.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 8: Posibilidad de que la Nanomedicina pueda llegar a reemplazar las cirugías invasivas .....</b>	<b>54</b>

## Resumen

A través de los años, la Nanotecnología ha cogido impulso en el área de la medicina, abriendo campo a una nueva tecnología denominada Nanomedicina. Esta área ha permitido el desarrollo de diferentes dispositivos ‘nano’ que se han utilizado con fines médicos para el diagnóstico, terapia y tratamiento de enfermedades desde un enfoque más práctico, preciso y eficaz. En busca de comprender el impacto actual y futuro de esta tecnología, se da origen a la presente investigación con la pregunta ¿de qué manera incide el sector de la Nanomedicina en el progreso de las cirugías invasivas y el uso de píldoras?

De acuerdo con estos conceptos, se construye un marco teórico que abarca de una manera profunda las diferentes aplicaciones de la Nanotecnología, el impacto de la Nanomedicina en las cirugías invasivas y las píldoras tradicionales, y la prospectiva científica y económica de la Nanomedicina en Colombia y el resto del mundo.

Con el objetivo de contrastar el desarrollo de la Nanomedicina frente a las cirugías invasivas y el uso de píldoras, se lleva a cabo la presente investigación mediante una metodología de carácter mixto, es decir, que incluye los enfoques cualitativo y cuantitativo, donde se recopilan los conocimientos de profesionales sobre el tema mediante entrevistas y encuestas, junto con la información obtenida por la investigación. Gracias a esto, se realiza un análisis que da paso a una serie de conclusiones que permiten demostrar que, efectivamente, la Nanomedicina ha cambiado por completo el uso actual de las píldoras tradicionales y las cirugías invasivas, y que aunque existe la posibilidad de que esta ciencia pueda llegar a reemplazar gran parte de estos métodos tradicionales (por su eficacia y control), aún falta conocimiento y fiabilidad en ambas tecnologías ya que se han revelado riesgos que son necesarios tener presentes al momento de implementación.

**Palabras clave:** *Nanomedicina, Nanotecnología, cirugías invasivas, cirugías mínimamente invasivas, píldoras tradicionales, píldoras inteligentes.*

## Abstract

Over the years, Nanotechnology has gained impetus in medicine, opening the place for the origination of a new technology called Nanomedicine. This science has allowed the development of different 'nano' devices that have been used for medical purposes for the diagnosis, therapy, and treatment of diseases from a more practical, accurate and effective approach. In this sense, to understand the current and future impact of this technology, the present research is born with the question: how does Nanomedicine affect the progress of invasive surgeries and the use of pills?

According to these concepts, a theoretical framework is constructed in order to cover in a detailed way the different applications of Nanotechnology, the impact of Nanomedicine on invasive surgeries and traditional pills, and the scientific and economic prospect of Nanomedicine in Colombia and the rest of the world.

With the objective of contrasting the development of Nanomedicine versus invasive surgeries and the use of pills, the present research is carried out through a mixed methodology, that is to say, it includes qualitative and quantitative approaches, where the knowledge of professionals on the subject is gathered through interviews and surveys, together with the information obtained by the research. Thanks to this, the analysis is then conducted to give way to a series of conclusions that allow to demonstrate that, undoubtedly, Nanomedicine has completely changed the current use of traditional pills and invasive surgeries, where although there is the possibility that this science could replace a large part of traditional methods (due to its effectiveness and control), there is still a lack of knowledge and reliability in both technologies since risks, that are necessary to keep in mind at the time of implementation, have been revealed.

**Key words:** *Nanomedicine, Nanotechnology, invasive surgeries, minimally invasive surgeries, traditional pills, smart pills.*



## Introducción

El presente trabajo parte de una pregunta de investigación, la cual es ¿de qué manera el sector de la Nanomedicina incide en el progreso de las cirugías invasivas y el uso de píldoras?, para obtener una respuesta se plantea un objetivo general y tres objetivos específicos que se desarrollan con base en la Nanomedicina y su potencial para generar un impacto en el uso de píldoras tradicionales y las cirugías invasivas. El objetivo general de esta investigación es contrastar el progreso de la Nanomedicina frente a las cirugías invasivas y el uso de píldoras. Para el desarrollo de este trabajo, se plantean unos antecedentes que presentan la historia y las investigaciones formuladas anteriormente sobre el crecimiento de la Nanotecnología y el surgimiento de la Nanomedicina.

La investigación de esta problemática científica se realiza por el interés de la autora de demostrar y comprender que las nuevas tecnologías están abriendo un gran número de puertas a soluciones en la medicina, pero por la novedad de su desarrollo, se está apenas iniciando la exploración de sus impactos y si estos verdaderamente priman sobre la capacidad humana de realizar los trabajos que ahora robots comienzan a reemplazar.

Para responder a la pregunta planteada es primordial la comprensión de los conceptos expuestos (Nanomedicina, Nanotecnología, cirugías invasivas, cirugías mínimamente invasivas, píldoras tradicionales, píldoras inteligentes). Por lo tanto, esta investigación está compuesta por un marco teórico que, en primer lugar, describe y profundiza en la historia de la Nanotecnología y sus diferentes aplicaciones; en segundo lugar, expone el surgimiento de la Nanomedicina y su impacto inmediato en la medicina; posterior a esto, describe en detalle los conceptos de cirugías invasivas, píldoras tradicionales, dispositivos mínimamente invasivos y píldoras inteligentes; luego, presenta los efectos de la Nanomedicina en las cirugías invasivas y las píldoras

tradicionales; y, por último, plantea el progreso de la Nanotecnología y la Nanomedicina desde una perspectiva nacional y mundial.

En este proyecto de investigación se utiliza un enfoque metodológico de carácter mixto, donde se aplican entrevistas semiestructuradas y encuestas cerradas a personas, en este caso expertos, con diferentes perfiles para lograr ahondar en la temática del presente trabajo y entender qué tanto ha logrado revolucionar la Nanomedicina en aspectos médicos como económicos. Mediante la metodología mixta se podrá disponer de datos numéricos y respuestas explicativas para generar un análisis profundo que abarque datos concretos y perspectivas diferentes. Se podrán combinar los resultados obtenidos por encuestas y entrevistas para sacar conclusiones y cumplir con la finalidad del proyecto investigativo.

Con la información proporcionada por los profesionales, se realiza un análisis de los resultados, para completar las ideas propuestas y dar una respuesta más clara y concreta a la pregunta. Finalmente, se desarrollan las conclusiones del trabajo presentado, que se fundamentan con la relación entre el marco conceptual, las entrevistas, las encuestas y las ideas de la autora elaboradas a partir de la investigación haciendo referencia a los objetivos planteados al inicio del proyecto de investigación.

Este trabajo le permite al lector hacer una revisión bibliográfica y tomar fuentes para ampliar su perspectiva, aprender de diferentes temáticas e incluso trabajar en proyectos semejantes.

## **Justificación**

De acuerdo con el Grupo de Investigación Evidencia Terapéutica, (Universidad de la Sabana, s.f.), desde el 2004 Colombia viene aportando al desarrollo de la Nanomedicina mediante su reconocimiento como una ciencia estratégica para el desarrollo nacional mediante centros de excelencia, los cuales tuvieron un gran crecimiento durante el 2010 contando con la participación de nuevos doctores e investigadores. Así pues, la Nanomedicina que es una rama de la ciencia que hace referencia a la aplicación de la Nanotecnología en los ámbitos de la salud, tiene una prometedora proyección a futuro gracias al potencial que posee para producir novedosas herramientas que prevengan y combatan enfermedades tempranas, brinden mejores y más eficaces tratamientos y diagnósticos, y resuelvan los retos que amenazan tanto a la humanidad y su progreso como el diario vivir.

A partir de lo anterior, la siguiente investigación tiene como objetivo analizar la Nanomedicina y su incidencia en el área de la salud para así poder establecer una relación entre las píldoras tradicionales e inteligentes; las cirugías invasivas y el uso de dispositivos nano no invasivos. En lo que respecta a las píldoras, se estudiará cómo se reemplazan las píldoras tradicionales por píldoras inteligentes las cuales contribuyen al eficaz rendimiento del cuerpo humano ante cierto estímulo (antibiótico, medicamento, etc) y cómo impactan el progreso de la medicina, ciencia y tecnología no solo en el mundo, sino en particular, en Colombia considerando que es un país en desarrollo. Con respecto a las cirugías, se espera hacer una comparación entre las cirugías invasivas y los dispositivos (como nano robots) que las están reemplazando.

Esta investigación surge como interés personal de la autora quien al haber participado en diversos debates de temas tales como modificación genética y biotecnología en años pasados,

demonstró relación y alta inclinación a la temática a tratar. Como futura Ingeniera Biomédica, busca analizar el actual progreso que se está notando en la Nanomedicina, evidenciando aquellas debilidades y/o fortalezas que pueda tener esta disciplina actualmente y ser partícipe de un futuro más próspero para la humanidad. Finalmente, esta investigación en países como Colombia podrá nutrir el conocimiento que se presenta frente a este tema y que está revolucionando la innovación y las mentes jóvenes, por esto, para obtener datos concretos y estadísticas definidas, se investigará el tema presente mediante entrevistas, análisis de gráficas, lecturas y testimonios. El lector podrá entonces hacer uso de esta investigación para hacer una exploración bibliográfica y conseguir fuentes del trabajo correspondiente para ampliar su investigación o cooperar en proyectos similares.

### **Pregunta de investigación**

¿De qué manera el sector de la Nanomedicina incide en el progreso de las cirugías invasivas y el uso de píldoras?

### **Objetivos**

#### **Objetivo general**

Contrastar el desarrollo de la Nanomedicina frente a las cirugías invasivas y el uso de píldoras.

#### **Objetivos específicos**

1. Definir la Nanomedicina y la manera en la que está cambiando el rumbo de la medicina mediante la biotecnología y, por ende, el uso de la cirugía invasiva tradicional y píldoras.
2. Entender las ventajas y desventajas del uso de la Nanomedicina y mediante ejemplos explicar estas.
3. Analizar la presencia y prospectiva de la Nanomedicina en Colombia, su incidencia en el desarrollo científico y económico del país, y la relación con el progreso logrado en este sector en otros países del mundo.

## Antecedentes

La Nanotecnología fue fundada por Richard Feynman en 1959 quien a partir del reordenamiento de átomos y moléculas comenzó a fabricar productos, es decir, llevar a cabo procesos similares a los que hace la naturaleza con el carbono, pero de acuerdo con los intereses humanos (Clínica Alemana, 2003). Años más tarde, según Pullatt y White (2019), desde el final de la década de 1970, los innovadores ya estaban ideando la unión de la robótica y la cirugía mínimamente invasiva, esto con el fin de que los procedimientos quirúrgicos pudieran ser mucho más seguros, estables y precisos para así poder mejorar e incrementar el rendimiento técnico de los cirujanos.

Por consiguiente, durante los últimos años, la Nanomedicina ha evolucionado a pasos agigantados y ha conducido a una variedad de beneficios tanto para pacientes como para médicos. De acuerdo con Chaparro y Vivas (2016), la rápida difusión de esta práctica ha permitido su desarrollo hasta el punto en el que ha logrado disminuir el tiempo de recuperación de un paciente, el riesgo de hemorragias y los costos hospitalarios. No obstante, aspectos como la falta de sensibilidad que tienen los dispositivos robóticos (poco sentido de profundidad y presión), las posiciones incómodas y tensionantes para el cirujano debido al desconocimiento, deben ser tomados en consideración a la hora de implementar esta tecnología (2016, pág 7).

En los últimos 30 años se han diseñado, examinado y comercializado cantidades importantes de robots quirúrgicos que han sido asistentes para procedimientos en las áreas de cirugía general, ortopédica, urológica, entre otras (Chaparro & Vivas, 2016, p. 182-190). De hecho, el Arthobot, fue el primer robot quirúrgico acreditado para el uso clínico y fue desarrollado en 1984 por los ingenieros biomédicos de la Universidad de Columbia Británica James McEwen y Geof Auchinleck, y el cirujano ortopédico Brian Day (Pullatt & White, 2019,

p. 91-118). Este robot consistía en un brazo robótico que se unía a la parte inferior de la pierna del paciente para que, con comandos de voz, moviera a varias posiciones dicha extremidad. El objetivo esencial que se quería lograr con el Arthobot era que el doctor, en este caso el Dr. Day, se concentrara únicamente en la operación mientras que, a su vez, el robot, que ocupaba el lugar de un asistente quirúrgico que se podría cansar con el tiempo, manipulaba la articulación (2019, páf 1). Robots industriales también llegaron a ser utilizados como asistentes quirúrgicos en vista de los problemas técnicos que se iban presentando. En efecto, según aseguran Chaparro y Vivas (2016), el robot industrial PUMA 560 empleado en 1985 en el área de la neurocirugía, hizo parte de la “primera generación” de sistemas robóticos para cirugía. Las principales desventajas radicaban en que estos robots contaban con interfaces limitadas y básicas, y no poseían un sistema de diagnóstico que dejara saber en qué parte del cuerpo humano estaba ubicado el robot, lo que producía largas horas de reuniones de planeación para una sola operación (2016, páf 11).

Después de la “primera generación”, se desarrollaron sistemas robóticos más avanzados que contaban con una configuración denominada maestro-esclavo, que consiste en que el cirujano (maestro) controle los brazos robóticos (esclavo) que llevan a cabo la cirugía (Chaparro & Vivas, 2016, p. 182-190). De igual forma, la empresa californiana Computer Motion ha sido la responsable de numerosos éxitos en este ámbito ya que si bien la Nanotecnología no ha sido precisamente la base de sus creaciones, ha sido su tecnología y sus estudios los que han permitido en gran parte el crecimiento de la Nanomedicina. Así pues, en 1994, crearon un brazo robótico llamado Aesop que sería un sistema endoscópico automático (2016, páf 13). Más tarde, en 1998, desarrollaron el sistema Zeus en 1998, un robot compuesto por tres brazos robóticos (entre esos Aesop), un video tridimensional y una consola para el cirujano. Análogamente a la creación de Zeus, Intuitive Surgical, empresa americana especializada en productos robóticos

aplicados a la salud y cirugías mínimamente invasivas, creó el Da Vinci Surgical System, un sistema robótico quirúrgico fabricado para facilitar la cirugía utilizando un enfoque mínimamente invasivo (2016, páf 14). En 2003, Intuitive Surgical y Computer Motion se unieron para enfocar sus esfuerzos tecnológicos en la optimización del Da Vinci, el cual es ahora el mejor sistema robótico para cirugía (2016, páf 14).

Hasta hoy en día, así como lo plantean Pullat y White (2019), uno de los factores característicos de los sistemas quirúrgicos robóticos es la mejora que se ha presentado frente a la precisión quirúrgica teniendo en cuenta la eliminación que dicha tecnología ha logrado de temblores y movimientos indeseados por parte del médico. Particularmente en Colombia, en los últimos trece años, se ha logrado una tendencia creciente frente a la Nanotecnología y la producción científica, debido esencialmente al establecimiento de la National Nanotechnology Initiative, en la que numerosos grupos de investigación de Colombia participaron. Sin embargo, el crecimiento en esta área, aunque prometedor, es gradual y lento debido a que no hay suficientes recursos que estén siendo destinados a la investigación, producción e implementación de la Nanotecnología en el país.



## **Marco teórico**

### **1 Nanotecnología**

#### **1.1 Historia y definición**

En 1959, resonó por primera vez la viabilidad de la Nanotecnología y la Nanociencia. El primero en hacer referencia a estas áreas fue el estadounidense Richard Feynman ganador de un Premio Nobel de Física (1965), quien durante su discurso en Caltech ahondó sobre la manipulación directa y precisa de los átomos. Sin embargo, fue hasta 1974 que el término “Nanotecnología” fue realmente adoptado por el japonés Norio Taniguchi (Equipo Editorial Etecé, 2020).

Más tarde, desde el año 2000 los nanomateriales comenzaron a comercializarse y emplearse industrialmente. En consecuencia, al ver el gran potencial de crecimiento de esta disciplina, los gobiernos comenzaron a invertir significativas sumas de dinero en la investigación y desarrollo de la Nanotecnología (2020, páf 10).

Poco después, sus aplicaciones a los dominios de la bioquímica, medicina e ingeniería genética se hicieron presentes. La Nanotecnología se ha transformado en un campo científico vigente y pertinente que ha demostrado tener una alta demanda en países incluso pertenecientes al denominado Tercer Mundo (2020, páf 11).

Según ChemicalSafetyFacts (s.f.), la Nanotecnología es la ciencia que estudia la manipulación de la materia en tamaños atómicos y moleculares, usualmente entre uno y 100 nanómetros para resolver problemas desde un enfoque funcional. Esta ciencia comprende así pues una extensa variedad de materiales, procesos de fabricación y tecnologías que tienen el fin de crear y mejorar productos que son de uso diario.

Las utilidades de la Nanotecnología se podrían decir que son virtualmente infinitas ya que debido a la pequeña dimensión a la que se pueden manipular las moléculas, se puede intervenir en la composición química de los seres vivos, es decir modificar y reprogramar su ADN, hasta fabricar nanomateriales innovadores que dispongan de unas propiedades únicas y adaptables (Equipo Editorial Etecé, 2020).

Es por esto mismo por lo que la Nanotecnología tiene la habilidad de propiciar nuevas alternativas para crear dispositivos más precisos. No obstante, la Nanotecnología también tiene la posibilidad de convertirse en una amenaza para nuestro entorno debido a la posibilidad existente de ser un detonante para la producción de toxinas nuevas y contaminantes, de ser un agente disruptivo para el mercado laboral al modificar procesos de funcionamiento y producción reemplazando y destruyendo trabajos, y un riesgo para la seguridad, al abrir campo al espionaje y posible producción de dispositivos con fines bélicos: nano armas, balas inteligentes, etc (Grupo Iberdrola, s.f.).

### ***1.1.1 Aplicaciones de la Nanotecnología***

La Nanotecnología desde ya forma parte de la siguiente generación de innovación en la ciencia y en la ingeniería que transformará a muchos sectores trayendo nanomateriales más ligeros, fuertes y sostenibles. Entre estos sectores podemos encontrar el área de la salud, el medio ambiente, el ámbito aeroespacial, la industria energética, el transporte y la defensa/seguridad nacional (ChemicalSafetyFacts, s.f.).

Del mismo modo, la Nanotecnología puede brindar soluciones a las cosas más sencillas como lo son limpiar terrenos y aguas contaminadas, como también convertirse en un factor crítico en la transformación de la medicina y el cuidado de la salud. De hecho, actualmente se están desarrollando herramientas que tienen el fin de tratar y

combatir el cáncer, vendajes que eviten infecciones y mucho más. Se podría incluso afirmar que la gran mayoría de los dispositivos electrónicos desarrollados en la última década se crearon mediante el uso de la Nanotecnología (s.f., páf 5). Sus aplicaciones se presentan fundamentalmente en los siguientes ámbitos:

- **Nanomateriales:** equipos más ligeros, rígidos, duraderos y resistentes, telas inteligentes que resistan arrugas, actúen como auto limpiantes y antimanchas, cambian la coloración y temperatura, y mantengan la ropa más limpia.
- **Nanoquímica:** quitamanchas, limpiadores antibacteriales, purificadores, filtros de aire, protectores solares, etc, mejorados en términos de eficiencia.
- **Medio ambiente:** un ambiente más limpio mediante métodos de purificación de agua, innovaciones energéticas y remoción de contaminantes del agua mucho más prácticos.
- **Agricultura:** plaguicidas, pesticidas y fertilizantes que permitan el mejoramiento de los suelos y detecten aguas subterráneas, concentración de nutrientes, etc.
- **Nanoelectrónica:** películas de los lentes, pantallas de computadoras, ventanas y demás con mejor resistencia al agua, capa antirreflejo, resistencia a la luz ultravioleta o infrarroja, y protección contra rayaduras y otros.  
(ChemicalSafetyFacts, s.f.; Equipo Editorial Etecé, 2020).
- **Bionanotecnología y Nanomedicina:**
  - **Alimentación:** envases de alimentos que identifiquen y prevengan la descomposición o la contaminación, y conserven los alimentos frescos por más tiempo (Equipo Editorial Etecé, 2020).

- Fármacos: mejor desempeño, detección de armas químicas y biológicas, evasión de la infección de heridas, y eficaz distribución de compuestos activos de las medicinas, obteniendo resultados óptimos y reduciendo los agravios secundarios (2020, páf 19).

De todos los campos arriba mencionados, la investigación se ubica dentro de la Nanomedicina, siendo de especial interés los cambios notorios en las cirugías, particularmente las invasivas. De hecho, ya existen las Nanocirugías hechas por un robot, el laboratorio suizo ETH Zürich probó en el 2020 su primer micro robot guiado magnéticamente, OctoMag, con el cual se tenía la expectativa de conducir una serie de microcirugías tan solo inyectándolo dentro del cuerpo por medio de una pequeña aguja (2020, páf 25).

Para finalizar, según el Grupo Iberdrola (s.f.), el futuro de la Nanotecnología proyecta tanto brillo como oscuridad. Por un lado, se prevé una expansión global en el área impulsada por los adelantos tecnológicos, el apoyo de las naciones, la inversión por entidades privadas y la demanda en aumento de dispositivos nanométricos. Sin embargo, “los riesgos que se prevén en aspectos medioambientales, sanitarios y de seguridad de la Nanotecnología, y las preocupaciones relacionadas con su comercialización podrían obstaculizar la expansión del mercado”. (Grupo Iberdrola, s.f.).

## **1.2 ¿Qué es la Nanomedicina?**

Hoy en día, la medicina se enfrenta a una variedad de retos, principalmente a unos que son el desarrollo de técnicas de diagnóstico precoz para numerosas enfermedades y el desarrollo de técnicas de regeneración de órganos y tejidos dañados dentro de nuestro cuerpo. La solución a estos retos podría traer repercusiones significativas en la calidad de vida de la sociedad, y es

precisamente la Nanomedicina la que permite lidiar con dichos desafíos y alcanzar estos objetivos. De ahí, se podría definir a la Nanomedicina como la aplicación directa de la Nanotecnología, el proceso de diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades a nivel celular o molecular que permite afrontar muchos problemas médicos por medio de materiales estructurados a nano escala para que de este modo puedan entrar fácilmente en la mayoría de las células y no solo por el torrente circulatorio (Cuadros, Llanos, & Villegas, 2010).

Como sostienen Cuadros et al (2010), la Nanomedicina se proyecta para impactar y crecer las áreas de la salud y la medicina como lo son el diagnóstico médico por agentes de imágenes precisos, la administración de fármacos para controlar con precisión la dosis y el momento de su liberación, tratar pacientes a distancia, reparación de tejidos, supervisión del progreso de las enfermedades, entre otros. No solo esto sino también, la Nanomedicina al permitir intervenir a una escala tan minúscula, abre la posibilidad de tratar células en vez de tejidos, de transportar fármacos de una manera inteligente e individualizada que los lleve a un lugar en específico en vez de dejarlos actuar en todo el cuerpo, y de “llevar el laboratorio al cuerpo” en vez de “llevar el cuerpo al laboratorio” para obtener muestras de sangre (Closa, 2019).

Este cambio de 360 grados marcará un antes y un después en la historia de la ciencia, en especial de la medicina, ya que se innovará desde el origen y la raíz de las enfermedades.

### ***1.2.1 Repercusiones en la medicina***

La Nanomedicina ha causado una nueva revolución industrial y económica ya que en un corto periodo de tiempo ha logrado resolver problemas inquietantes para la humanidad y a su vez crecer la competencia científica con otras naciones para contribuir al progreso económico y social del país. La Nanomedicina tiene la capacidad de abrir

campo a sistemas de diagnóstico y terapia mejores a los existentes para proporcionar una mejor calidad de vida para los ciudadanos (Lechuga, 2008). Es por esto, que la Nanomedicina considera tres áreas para enfocar su trabajo: el nano diagnóstico, la liberación de fármacos (nano terapia) y la medicina regenerativa (Zamudio, s.f.). El nano diagnóstico tiene el propósito de desarrollar sistemas de análisis y de imagen para descubrir enfermedades o un mal funcionamiento celular; la nano terapia pretende guiar nanosistemas activos para que transporten y liberen medicamentos exclusivamente en las zonas afectadas, a fin de minimizar los efectos secundarios y aumentar eficacia; por último, la medicina regenerativa tiene como objetivo reparar o reemplazar tejidos y órganos deteriorados mediante herramientas nanotecnológicas (s.f., páf 12).

La incidencia de la Nanotecnología en la medicina permite mejorar la estabilidad, precisión y eficacia de procesos simples y complejos. En estos casos, la Nanomedicina mediante el desarrollo de nanopartículas, nanoestructuras y nano dispositivos permite la detección temprana y el tratamiento de enfermedades de la mano de los nanocompuestos y nanomateriales los cuales poseen unas características únicas en términos de su conductividad, propiedades mecánicas, magnéticas, ópticas, y demás (Gómez, 2017, p. 129-130).

Del mismo modo, la Nanomedicina plantea posibilidades totalmente novedosas para prevenir, detectar y tratar enfermedades (De la Viña, 2018). El desarrollo de esta disciplina permitirá en la medicina:

- Mejorar el uso de nanomateriales en imagenología médica, diagnóstico de enfermedades, liberación de fármacos, tratamiento del cáncer, terapia génica y otras áreas (Gómez, 2017, p. 129-130).

Acorde con De Silva (2007):

- Disminuir costos e incrementar potencia de las herramientas de investigación y práctica.
- Mejorar eficacia, rapidez y precisión para detectar y responder a las enfermedades.
- Crear nanosistemas con fines terapéuticos que puedan sustituir la medicación convencional.
- Implementar nanopartículas y nano robots que tengan la capacidad de detectar y enfrentar sin causar efectos secundarios ya sea una enfermedad, un virus, una bacteria o un hongo.
- Revolucionar la liberación de fármacos de la forma en la que puedan controlar de forma exacta la dosis y el tiempo de liberación de la droga con la ayuda de nanopartículas y nano dispositivos.
- Identificar enfermedades con el apoyo de los biomarcadores, los cuales interactúan directamente con las moléculas concernientes a la enfermedad presentes en la sangre, fluidos corporales o tejidos.
- Mejorar la tecnología y los instrumentos necesarios para llevar a cabo los diagnósticos de acuerdo con cada método con mayor velocidad, certeza y sensibilidad.

Hablando desde un enfoque un poco más técnico y específico, se podría decir que las áreas principales donde la Nanomedicina puede tener mayor impacto son:

1. Prevención: dispositivos que identifiquen factores que hagan referencia a la presencia de una enfermedad y puedan en ese momento liberar agentes que

reestablezcan los cambios que hayan producidos los elementos malignos y/o eliminen las células que presenten este mismo potencial perjudicial (Cuadros et al, 2010).

## 2. Diagnóstico:

- a. Nano cables: sensores que reconocer firmas genéticas de diferentes partículas y transmiten la información.
- b. Nanocantilevers: barras flexibles que se unen a distintas moléculas, como anticuerpos, capaces de detectar virus, bacterias, y demás.
- c. Nano tubos: detectan la presencia de genes alterados.
- d. Nano poros: permiten el paso de una cadena del ADN y registran su secuencia para identificar cambios genéticos.
- e. Nano cristales y puntos cuánticos: marcadores en diagnóstico molecular, citometría de flujo (determinar número de células) y biosensores para encontrar enfermedades.

(Cuadros et al, 2010; Shetty, 2010).

## 3. Terapia:

- a. Nano cápsulas y nanopartículas: usadas como métodos de liberación de fármacos, encapsulación de fármacos, nanosensores, potenciadoras de imágenes médicas.
- b. Dendrímeros: encapsulan agentes terapéuticos, detectan células específicas, transportan fármacos y diagnostican cáncer y VIH.



- c. Nano vainas (nanoshells): absorben ondas de luz para convertirlas en calor, se usan para imagenología, destrucción de células selectiva y terapia térmica para eliminar células tumorales.
- d. Liposomas: vesículas artificiales hechas para penetrar fácilmente en las membranas y usadas para tratar enfermedades como cáncer, infecciones micóticas, hepatitis A e influenza.

(Cuadros et al, 2010; Shetty, 2010).

Sin embargo, a pesar de la variedad de avances y ventajas que ha traído la Nanomedicina al área de la salud, los especialistas están preocupados debido a que a causa del desconocimiento que existe frente a las repercusiones a largo plazo y las desventajas que podría conllevar esta tecnología, se cree que una variable de toxicidad podría venir implicada en el uso de las nanopartículas para la salud humana y el ambiente. Por ejemplo, un informe de 2004 de la Real Sociedad y la Academia Real de Ingeniería del Reino Unido recomendó que las nanopartículas y los nanotubos fueran tratados como residuos peligrosos (Shetty, 2010).

De igual manera, grupos de científicos insisten en que la Nanotecnología y su respuesta a las necesidades de salud a nivel mundial son imprescindibles para el mundo en desarrollo y que podrían contribuir considerablemente a alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio en el campo de la salud. Específicamente, como describe Shetty (2010), “en las metas de reducción de la mortalidad infantil, disminución de la mortalidad materna y combate al VIH/SIDA, malaria y otras enfermedades”.

Finalmente, gracias a la Nanomedicina se están elevando las expectativas de que una atención médica de calidad, más competente y factible llegue a convertirse en

realidad. Desde nano dispositivos que permiten una detección temprana, rápida y exacta de enfermedades hasta nano terapias para liberación controlada e individualizada de fármacos dentro del cuerpo, pasando por su impacto en la medicina regenerativa, que repara o reemplaza órganos dañados, indudablemente representa una gran oportunidad para los gobiernos, y, en específico, los sistemas públicos de salud (De la Viña, 2018).

### **1.3 Cirugías invasivas**

De acuerdo con el Instituto Nacional de Cáncer, las cirugías invasivas son un procedimiento médico que invade el cuerpo, es decir, corta o perfora la piel, o inserta instrumentos en el cuerpo. Un ejemplo podría ser la endoscopia, mientras que la laparoscopia es una cirugía mínimamente invasiva (Pullatt & White, 2019, p. 91-118).

Ciertamente los procedimientos invasivos son intervenciones complejas, que contienen una variedad de elementos que interactúan entre sí de manera independiente como interdependiente para influir en los resultados (Cousins, Blencowe, & Blazeby, 2019). Por esta razón, un procedimiento invasivo es un método en el que, mediante una incisión, punción percutánea u otro, se obtiene acceso intencional al cuerpo (2019, páf 1). Los procedimientos invasivos comienzan al ingresar al cuerpo y terminan cuando se retira el instrumento y/o se cierra la piel, estos son realizados por profesionales que hacen uso de herramientas como los endoscopios, catéteres, bisturís, tijeras, dispositivos y tubos (2019, páf 12).

### **1.4 Píldoras tradicionales**

Las píldoras de acuerdo con Hilmas (s.f.), son compuestos químicos que se utilizan en el diagnóstico de enfermedades, el alivio de síntomas, la curación o prevención de otras dolencias (2018, páf 2). Tienen la capacidad de curar enfermedades matando o deteniendo el avance de los

gérmenes invasores y de aportar sustancias que faltan compensando concentraciones excesivamente bajas de sustancias necesarias en el cuerpo (2018, páf 9).

De la misma forma, el organismo absorbe sustancias para llevarlas a la sangre a través de varias vías (Knowi, 2019). En este caso, como propone Valéry (2017), las píldoras son tomadas por la vía oral, es decir, por el tracto gastro intestinal:

1. Después de ingerida, la píldora baja por el esófago hacia el estómago, allí la tableta comienza a desintegrarse en los fluidos ácidos.
2. Ya disuelta, viaja al intestino delgado y luego a través de la pared intestinal hacia una red de vasos sanguíneos los cuales alimentan una vena que lleva la sangre al hígado.
3. Mientras la sangre y las moléculas disueltas del fármaco viajan a través de los vasos sanguíneos del hígado, las enzimas intentan reaccionar con las moléculas del fármaco para neutralizarlas.
4. Media hora después de tragar la píldora, parte de la dosis ya va a haber llegado al torrente sanguíneo. Este circuito viaja a través de cada miembro y órgano, y de regreso a través del hígado.
5. A medida que se acumulan más moléculas del medicamento, aumenta el efecto de cancelación del dolor, alcanzando su máxima cobertura en aproximadamente una o dos horas.
6. Después de esto, el cuerpo comienza a eliminar el fármaco, y la dosis en la sangre disminuye a la mitad cada dos horas en promedio.
7. Cuando vuelve al hígado, otra parte de la droga se transforma en metabolitos, que, en últimas, son filtrados por los riñones en la orina.

Valéry, C. (2017). *¿Cómo procesa el cuerpo las medicinas?* [Video]. TED Talks.

[https://www.ted.com/talks/celine\\_valery\\_how\\_does\\_your\\_body\\_process\\_medicine/transcript?language=es](https://www.ted.com/talks/celine_valery_how_does_your_body_process_medicine/transcript?language=es)

### **1.5 Dispositivos mínimamente invasivos**

La cirugía mínimamente invasiva hace alusión a técnicas quirúrgicas que limitan el tamaño de las incisiones, insertan pequeños instrumentos para realizar la cirugía (como los nano robots) y evitan que los pacientes necesiten enfrentarse a cirugías más complejas y extensas (Evans, 2016). Igualmente, el término "mínimamente invasivo" se podría definir como un subsegmento de los dispositivos "invasivos" debido a que realmente los dispositivos mínimamente invasivos son dispositivos invasivos, pero que ingresan al cuerpo utilizando una huella mínima (Anderson, 2020). Un ejemplo de lo anterior es el dispositivo Holistick que incorpora procesos que permiten cerrar de manera mínimamente invasiva un agujero, evitando así las suturas y dispositivos rígidos (Solano, 2019).

Los dispositivos mínimamente invasivos traen una variedad de ventajas, entre ellas la disminución de dolor, adquisición de datos más fiables acerca del estado de un paciente, una cicatrización sana y una recuperación más rápida a comparación con las cirugías tradicionales (National Cancer Institute, s.f.). El traumatismo en estas cirugías más que evitable, es innecesario y por eso esta práctica se limita a reducir el tamaño de las incisiones a menos de 1 cm (Tendick, Sastry, Fearing, & Cohn, 1998). Para finalizar, en una cirugía de invasión mínima, es la combinación y novedad de técnicas lo que permite realizar procedimientos cada vez menos dañinos para el cuerpo. En resumidas cuentas, la cirugía mínimamente invasiva se relaciona con menos dolor, una corta hospitalización y menos complicaciones (Mayo Clinic, 2021).

## 1.6 Píldoras inteligentes

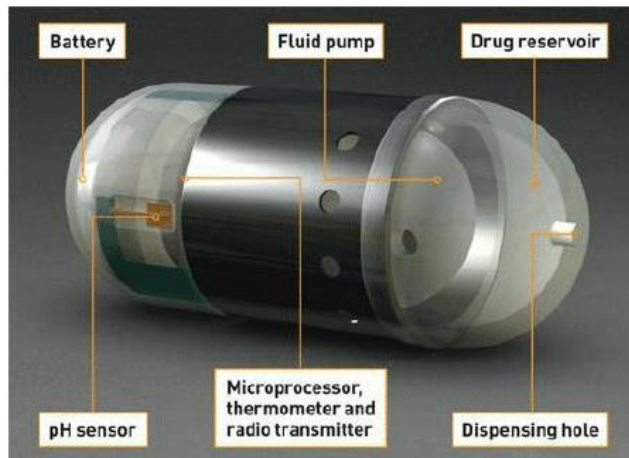
Las píldoras inteligentes (smart pills), son dispositivos electrónicos en miniatura que tienen el diseño de una cápsula farmacéutica y poseen sensores ingeribles y microchips capaces de diagnosticar y tratar enfermedades dentro del cuerpo humano, y administrar medicamentos de manera controlada lo cual elimina muchos efectos secundarios relacionados con la administración tradicional de medicamentos (Alliance of Advanced BioMedical Engineering, s.f.). Estas píldoras son además capaces de monitorear y encontrar desde molestias benignas, como la hinchazón o el dolor intestinal, hasta diferentes tipos de cáncer (Oliveira, 2017). Asimismo, las píldoras inteligentes mediante sus sensores tienen el potencial de medir factores como el pH, las enzimas, la temperatura, el nivel de azúcar y la presión arterial, para tener una imagen multidimensional e integral del cuerpo humano en su totalidad (2017, páf 3). Dichos dispositivos tienen la posibilidad de diagnosticar enfermedades y prevenir sus síntomas sin la necesidad de acudir a un médico, si no, por el contrario, ser monitoreado a tiempo real de forma remota (González, 2018).

Kourosh Kalantar-Zadeh, ingeniero en Nanotecnología y docente de la Universidad RMIT en Australia, es el creador de estos dispositivos los cuales están diseñados de modo que un lado se pegue al tejido, y el otro repele los alimentos y líquidos que lo alejarían de su sitio de fijación (Oliveira, 2017). Por otro lado, los científicos sostienen que las píldoras inteligentes podrían usarse para reducir la frecuencia de dosificación de algunas drogas y a largo plazo convertirlas en un componente integral del control remoto de pacientes y la telemedicina (Alliance of Advanced BioMedical Engineering, s.f.). El desafío por el cual nacen las píldoras inteligentes es que las píldoras tradicionales y el fármaco que liberan no está dirigido, y por esto

provocan diversos efectos secundarios debido a la biodistribución no específica y la liberación incontrolable del fármaco (Dhiman, 2022).

A continuación, se puede ver la estructura de una píldora inteligente:

**Figura 1**



*Figura 1: estructura de una píldora inteligente*

(Phillips, 2008, citado por Ghosh, 2012).

## 2 La Nanomedicina

### 2.1 Ventajas y desventajas de la Nanomedicina

Con la ayuda de la Nanomedicina, se han logrado unos avances notorios en la manera en la que se combaten las enfermedades sin acudir a procedimientos que impliquen efectos secundarios o intervenciones invasivas. Sin embargo, debido a la novedad de esta disciplina, y el desconocimiento que comprende su aparición, se perciben unas desventajas ligadas a su dificultad de implementación, alto costo y posible toxicidad.

De acuerdo con lo establecido, a continuación, se presentan las principales ventajas y desventajas que trae la Nanomedicina:

Ventajas:

- Más efectividad, seguridad y personalización en los tratamientos.
- Terapia mínimamente invasiva.
- Diagnóstico temprano y control de enfermedades.
- Vacunas.
- Dispositivos médicos.
- Trasplantes y reparación de órganos.
- Terapia génica.
- Imagenología médica.
- Nano robótica.
- Nano implantes.
- Costos reducidos de atención médica.
- Abre la posibilidad de curar enfermedades tanto desde el interior como el exterior del organismo.

- Administración controlada de fármacos.
- Desarrollo de tejidos "inteligentes", es decir, que puedan regular temperaturas, ser autolimpiables y antiolores, entre otros.
- Reducción de los índices de mortalidad y morbilidad, y aumento de la longevidad.  
(Ventola, 2012; Parmar, s.f.; Skyline University, 2021; González, s.f.).

Desventajas:

- Podría causar daños al medio ambiente.
- Generar desequilibrio económico debido a la disponibilidad de productos con tecnología más baratos.
- Bioacumulación.
- Toxicidad.
- Impredecibilidad.
- Efectos desconocidos.
- Riesgos en la mala utilización de la tecnología.
- Puede generar una distorsión en el sistema inmunológico.
- El cuerpo podría rechazar esta tecnología.
- Cuestionamientos acerca de su uso ético.

(González, s.f.; Parmar, s.f.; Skyline University, 2021).

## **2.2 Efectos de los dispositivos en las cirugías invasivas**

La cirugía moderna, aunque parezca poco invasiva, resulta en realidad enormemente desproporcionada y agresiva en la mayoría de los casos (Valdivia, 2005). Por esta razón, la Nanomedicina ha presentado un conjunto de soluciones que parten desde la ciencia y la robótica



para construir dispositivos que reemplacen el innecesario uso de los procedimientos invasivos, y en contra, utilicen intervenciones mínimas de bajo riesgo.

Ahora bien, los nano robots los cuales hacen uso de la Nanotecnología para el complejo acceso en las cirugías podrán mejorar los tratamientos contra el cáncer y las biopsias, reducir las tasas de infección dentro del hospital, permitirles a los médicos tratar a varios pacientes al tiempo, y disminuir la incomodidad, dolor y tiempo de recuperación (Chaparro & Vivas, 2016, p. 182-190). Además de esto, los nano robots al tener la capacidad de pasar por el torrente sanguíneo podrán rastrear el organismo y de esta manera detectar y atacar tumores, hemorragias, bacterias y virus (Ospina, 2007). Adicionalmente, tendrá un bajo costo en los procedimientos, enfoques no invasivos, acceso a lugares remotos, mayor exactitud en los procedimientos, pequeñas incisiones, menos dolor y riesgo de infección, y alta efectividad.

Por otro lado, según Chaparro y Vivas (2016), en Alemania, el Instituto de Robótica y Mecatrónica (RMC) junto con el Centro Aeroespacial Alemán (DLR), desarrollaron el DLR MiroSurge, un sistema robótico quirúrgico compuesto de tres robots cirujanos, el cual se ha utilizado sobre todo para la investigación en tele cirugía. Este robot hace así pues uso de la Nanomedicina para conformar un sistema asistencial de un mayor tamaño y poder intervenir de manera mínimamente invasiva en procedimientos de alto riesgo.

## **Figura 2**



*Figura 2: DLR MiroSurge*

(Chaparro & Vivas, 2016, p. 182-190).

A pesar de esto, es importante recalcar que el diseño inicial de estos dispositivos no solo es muy costoso, complejo y puede presentar interferencias eléctricas, sino también, la mayoría de las investigaciones acerca de este tema son simuladas y no pasan del simple diseño o propuesta (Chaparro & Vivas, 2016, p. 182-190).

### **2.3 Efectos de las píldoras inteligentes en las tradicionales**

A lo largo de los últimos años, han aparecido numerosas innovaciones que han dado a luz a una nueva era de la medicina, entre estas innovaciones, prima la creación de las píldoras inteligentes las cuales con sus sensores y cámaras integradas han logrado comenzar a sustituir el uso de medicamentos convencionales poco efectivos en tanto que registran datos de los pacientes mientras que actúan en sus organismos. Por medio de estas píldoras se propone administrar medicamentos sin los efectos secundarios que pueden traer los tradicionales a través de dispositivos comestibles que de acuerdo con las investigaciones consolidan un mejor monitoreo, diagnóstico y tratamiento de condiciones médicas (a tiempo real) que ponen en riesgo la vida de los pacientes (Foglets, 2020).

Alrededor del año 2001, las píldoras inteligentes comenzaron a visibilizarse cuando la PillCam, primera cámara ingerible, fue aprobada por la FDA (Harrison, 2019). Años después, se demostró en el 2008 que la PillCam se había utilizado ya para más de dos millones de procedimientos médicos (2019, páf 2). Además de la PillCam, investigadores y expertos del MIT, Draper Laboratory y Brigham and Women's Hospital, crearon una cápsula ingerible a partir de tecnología de impresión 3D con la capacidad de transmitir los datos obtenidos por Bluetooth (Foglets, 2020).

A diferencia de las píldoras tradicionales, píldoras inteligentes como la cápsula antes mencionada suele tener el siguiente funcionamiento de acuerdo con Foglets (2020):

1. Después de tragar la cápsula, esta pasa por el esófago hasta llegar al estómago. Allí, despliega sus dos brazos en forma de 'Y' y se aloja por el tiempo necesario (puede permanecer durante un mes).
2. Durante el tiempo de alojamiento de la cápsula, esta recoge información sobre el cuerpo y transmite todos estos datos al teléfono inteligente del usuario.
3. La píldora reacciona de acuerdo con los estímulos que vaya recibiendo, es decir, el dispositivo podría recibir tanto estímulos internos como instrucciones externas para llevar a cabo un seguimiento de cualquier cambio dentro del organismo (reacciones alérgicas o infecciones) y así poder liberar medicamentos como respuesta a lo detectado.

El crecimiento de las píldoras inteligentes se está dando también gracias a factores como la demanda de monitoreo de pacientes en tiempo real, la administración mínimamente invasiva de fármacos, el envejecimiento de la población y la creciente de enfermedades gastrointestinales (Foglets, 2020). Aunque el único inconveniente de esta tecnología sea que funciona con una batería de óxido de plata que contiene mercurio venenoso, afortunadamente, se están desarrollando baterías sin mercurio a partir de otras fuentes de energía como el ácido estomacal que se empeñan por ser más seguras y estables (2020, páf 4).

En definitiva, al comparar los medicamentos convencionales con las píldoras inteligentes, se presentan algunas ventajas como lo son el mayor tiempo de circulación, menor volumen de distribución del fármaco, más biodisponibilidad y biocompatibilidad, baja toxicidad y

disminución en la cantidad de las dosis requeridas para obtener la eficacia esperada (Gómez, 2017, p. 129-130).

### 3 Progreso de la Nanomedicina

#### 3.1 Prospectiva científica y económica

“En un contexto como el actual, la importancia de la biotecnología pasa de ser estratégica a ser urgente, y se va a afianzar como uno de los sectores de inversión más deseados”, señala Daniel Oliver, CEO de Capital Cell. Como se mencionó previamente, la Nanomedicina y su rápido crecimiento han conllevado a unos increíbles avances que se perciben hoy en día, pero su prospectiva demuestra aún mejores expectativas debido a su alta esperanza de inversión y de eficacia en los nuevos métodos de tratamiento, prevención y diagnóstico de enfermedades. De este modo, se analizará el futuro de la Nanotecnología de acuerdo con el ámbito médico y económico:

Médico:

- Revolucionará el suministro de medicamentos, la terapia de genes y el diagnóstico de enfermedades.
- Es una de las prioridades del futuro de la medicina, que se enfoca en el desarrollo de nanopartículas multifuncionales, biocompatibles, y de menor toxicidad, y en la integración de la Nanomedicina con otras tales como la robótica, la computación y las gráficas en tercera dimensión.
- Posiblemente los dispositivos se diseñen para actuar de manera autónoma sin necesidad de un médico que los controle, esto terminará cambiando el papel de los profesionales de la salud.
- Potenciará el sistema inmune, reparará los daños celulares del envejecimiento, eliminará la necesidad de intervenciones invasivas, detectará virus y células cancerígenas, y podrá mejorar el sistema de transporte de oxígeno del cuerpo.

- Espera curar enfermedades tales como lo son el cáncer, VIH, diabetes, enfermedades degenerativas (Alzhéimer, Párkinson, etc) y desórdenes cardiovasculares y nerviosos.
- Propone revolucionar la oncología, cardiología, inmunología, neurología, endocrinología, microbiología, y odontología.
- Sus principales fines son el nano diagnóstico, la liberación controlada de fármacos y la medicina regenerativa.

(Cortés, 2017; Jaimes, González, Granados, Álvarez, & Espitia, 2012; Closa, 2019; Delgado & Hernández, 2013; Ibrahim, 2021).

#### Económico:

- Lleva diez años siendo el sector de inversión más rentable del mundo y se espera un gran incremento en los próximos cinco años.
- China y Estados Unidos son las dos grandes potencias económicas y tecnológicas que están trabajando y luchando entre sí por llevar la delantera en el área.
- La competencia entre las grandes empresas ha crecido por el deseo de llevar la iniciativa y producir diversos y asequibles productos.
- En la medida en la que crezca el campo, se crearán dispositivos con nuevos materiales que reduzcan costes y peso, pero aumenten calidad y resistencia, esta revolución podrá conducir al desempleo de muchas personas, así como al empleo de otras gracias a los sectores a los que abriría paso: nano biología, nanoelectrónica, nano fotónica, nano instrumentos, etc.
- Se estima que el mercado mundial anual supere los 40.000 millones de USD a finales de esta década.

- Expertos predicen que el mercado de Nanotecnología crezca un 9% de manera anual, y se puede incluso esperar que esta tasa crezca debido a las nuevas e innovadoras tecnologías que están desarrollando soluciones más precisas y actualizadas.

(Martínez, Mejía, Jaramillo, & Álvarez, 2014; Fernández, 2013; Hernández, 2009; Lizcano, 2002; Adam & Youseff, 2019; European Commission, 2006).

### **3.2 Aplicación en Colombia**

En Colombia, la Nanotecnología comenzó a cobrar mayor importancia desde el 2004, año en el que el Gobierno la estableció como una ciencia estratégica y necesaria para el desarrollo nacional, y fue desde el 2010 que se comenzaron a formar doctores e investigadores en esta área (Universidad de la Sabana, s.f.). La Nanotecnología ha avanzado de manera exponencial, y por esto se cree que llegará a tener mayores efectos en el desarrollo económico, social y científico del país que la revolución digital, y es precisamente por esta razón por la que varios sectores (académicos y gubernamentales) buscan involucrarse en el tema y fortalecer sus inversiones en este para generar un verdadero y evidente cambio.

Adicionalmente, Colombia es uno de los pocos países de Latinoamérica que realiza cirugías robóticas y entrenamientos especializados para aprender a manipular robots relacionados al tema como lo es el Da Vinci (Chaparro & Vivas, 2016, p. 182-190). Dentro de los desarrollos logrados a nivel nacional, se distingue el brazo robótico elaborado en la Universidad Autónoma del Caribe como los proyectos basados en el diseño y construcción de simuladores quirúrgicos con robots, guantes hápticos y robots quirúrgicos que se han llevado a cabo en la Universidad del Cauca, (2016, páf 19).

Por otro lado, junto al Grupo de Evidencia Terapéutica, se han logrado crear alianzas y colaboraciones tanto nacionales como internacionales con entidades como La Universidad de

Los Andes, La Universidad El Bosque, el Instituto de Química Avanzada de Cataluña, la Universidad de Swansea y la Universidad de Toulouse, entre otros (Universidad de la Sabana, s.f.). En particular, en Medellín, Ruta N acompañada de la Universidad de Purdue, se lanzaron a crear un Centro Nacional de Nanotecnología para innovar y generar soluciones que no solo traten temas médicos, sino también medioambientales y energéticos (Grupo Semana, 2016). Los talleres que este centro propone sirven como insumo para construir una comunidad de investigación que aborde cuestiones específicas a las necesidades e intereses de Colombia (Purdue University, 2017). En la actualidad, la Facultad de Ciencias de la Universidad Javeriana, tiene una línea de salud en la que se adelantan actividades enfocadas a la Nanotecnología y se desarrollan fármacos para que viajen de manera eficiente y localizada (Grupo Semana, 2016).

Finalmente, en términos económicos, Colombia planteó como meta mínima que antes del año 2000, se destinaría casi el 2% del PIB a inversiones ligadas a la investigación y desarrollo científico y tecnológico, pero pasados trece años, la meta todavía no se ha cumplido (Martínez et al, 2014). Se concluyó que Colombia enfrenta desafíos en la Nanotecnología relacionados con las oportunidades de financiamiento e inversión, la infraestructura y el diálogo entre academia, gobierno e industria (Grupo Semana, 2016). Además, los expertos afirman que el presente y el futuro de la Nanotecnología del país depende del aprovechamiento que se les dé a los recursos que este dispone, a la biodiversidad nacional, la cual permite de acuerdo con Johana Gutiérrez, gestora líder de la línea de Biotecnología de Tecnoparque, “realizar productos nanotecnológicos basados en aprovechar algún microorganismo colombiano que sirva para sintetizar una nanopartícula” (Grupo Semana, 2016). La inversión en la Nanomedicina por parte de Colombia más allá de impactar la economía contribuirá al aumento de la competitividad científica y tecnológica para así poder mejorar el desarrollo social del país.



## **Metodología**

### **1.1 Enfoque**

Con el objetivo de profundizar la investigación previamente realizada y dar respuesta a la pregunta inicial del presente trabajo, se desarrolló la siguiente investigación de tipo exploratorio mediante un proceso de encuestas y entrevistas que permitieron entender tanto el reconocimiento actual de la Nanomedicina en el área de la salud, como la postura de profesionales frente al impacto que ha tenido dicha tecnología en el uso de cirugías invasivas y píldoras tradicionales. Para realizar dicho proceso, se utilizó un enfoque de investigación de tipo mixto, esto quiere decir, una combinación del enfoque cualitativo y cuantitativo. Esto con el fin de dar una respuesta a la pregunta planteada a través de una profundización en los conocimientos del tema desde la perspectiva de expertos en la Nanotecnología y del público por medio de datos estadísticos y descripciones personales. Mediante la metodología mixta se pudo disponer de datos numéricos y respuestas explicativas para generar un análisis profundo que abarcara datos concretos y perspectivas diferentes.

Gracias a este enfoque, se pudo combinar los resultados obtenidos por encuestas y entrevistas para sacar conclusiones y cumplir con la finalidad del proyecto investigativo.

### **1.2 Metodología cualitativa**

Por otro lado, la metodología cualitativa siendo una categoría que implementa diferentes elementos de investigación que arrojan descripciones mediante observaciones en forma de entrevistas, narraciones, grabaciones, transcripciones de audio y video, fotografías artefactos, entre otros (LeCompte, 1995, citado por Rodríguez, 1996), le permitió a la autora generar un análisis global de la temática, que disponía de observaciones/descripciones abiertas que tuvieran en cuenta diferentes contextos (culturales, sociales, ideológicos, etc).

### **1.3 Metodología cuantitativa**

Según Rosado (2018), se entiende por metodología cuantitativa como aquella que está constituida por una variedad de métodos y sistemas que procuran acercarse al conocimiento de la realidad de la sociedad por medio del análisis extenso y definido de los hechos a través de los mismos sujetos que hacen parte de ella. Esto quiere decir, que la metodología cuantitativa es una forma estructurada de recopilar datos cuantificables de diferentes fuentes obtenidos por medio de mediciones y observaciones para obtener datos matemáticos y estadísticos y así realizar conclusiones en base a un fenómeno estudiado.

### **1.4 Instrumentos**

Para la metodología de enfoque mixto se usaron instrumentos de ambos tipos: cualitativos y cuantitativos.

En el caso de la metodología cualitativa se llevó a cabo una entrevista semiestructurada, la cual hizo alusión a un tipo de entrevista que le ofrecía una mayor flexibilidad a los entrevistados como al investigador aun manteniendo la estructura básica de la entrevista y su breve planeación; es decir, el investigador pudo redireccionar la entrevista o continuar con cualquier idea que se presentó durante ella, y el entrevistado pudo, expresar su punto de vista de una manera más libre para que hiciera aportes valiosos que le dieran continuidad a la investigación (Vincent, 2020).

Con relación a la metodología cuantitativa, esta se hizo mediante instrumentos de muestreo como la encuesta cerrada la cual se puede definir como un método de investigación y recopilación de datos utilizado para obtener información de personas sobre diversos temas. “Los datos suelen obtenerse mediante el uso de procedimientos estandarizados, esto con la finalidad de que cada persona encuestada responda las preguntas en una igualdad de condiciones para

evitar opiniones sesgadas que puedan influir en el resultado de la investigación o estudio” (QuestionPro, s.f.). La encuesta cerrada le permitió a la autora obtener datos concretos y cuantificables que dieran cuenta del contexto general actual de la Nanomedicina desde el punto de vista de expertos involucrados en esta área.

De este modo, los instrumentos que se usaron para la presente investigación fueron una entrevista semiestructurada (ver anexo 1) y una encuesta cerrada, las cuales posibilitaron el registro de datos y de respuestas abiertas que pudieron complementar el desarrollo del proyecto.

### **1.5 Población y muestra**

La población a la que se le aplicaron las primeras entrevistas fueron tres expertos colombianos de cualquier edad, pero de diferentes sectores profesionales: ingeniería biomédica, ingeniería física (sujeto especializado en Nanotecnología) y Nanotecnología. Estas entrevistas se llevaron a cabo mediante una serie de tres preguntas que fueron realizadas de manera presencial o telefónica.

Por otro lado, la población a la cual se le aplicó la encuesta fue a tres profesionales del área de la Nanomedicina los cuales fueron de todas las edades y residen ya sea en Colombia o por fuera del país:

1. Tonatiuh Yescas González: ingeniero biomédico especializado en Micro y Nanotecnología (ha realizado proyectos de Nanomedicina con hospitales).
  - Mexicano
2. Lacey Chunilal: estudiante de doctorado en NanoTemper Technologies (una empresa del sector farmacéutico).
  - India

3. Andrea Nygren: ingeniera de calidad en Wellspect HealthCare (una empresa de soluciones innovadoras a enfermedades).

- Sueca

## **Análisis de campo**

### **1.1 Organización de la información**

En esta sección del proyecto, se presenta el análisis cualitativo y cuantitativo de los instrumentos utilizados (entrevista y encuesta). En un primer instante, se organizan y categorizan los resultados de las respuestas obtenidas por las entrevistas de los sujetos a través de una tabla con los datos más relevantes. Posterior a esto, se presentan los resultados de la encuesta con sus gráficas correspondientes, y se expone la información de forma escrita. Finalmente, se completa este análisis con una triangulación metodológica de la información mediante la interpretación de las categorías que integran la encuesta y sus estadísticas extraídas, la información obtenida por la entrevista, y la explicación del marco teórico y objetivos llevados a cabo al inicio de este proyecto, para así dar respuesta a la pregunta problematizadora, sustentada por información verídica y contextualizada.

#### ***1.1.1 Entrevistas***

Las entrevistas semiestructuradas fueron aplicadas como técnica de recolección de datos perteneciente a la metodología cualitativa a tres profesionales colombianos que se desempeñan en el área de ingeniería biomédica, ingeniería física y Nanotecnología con una serie de tres preguntas.

En esta sección, los datos son divididos en una tabla entre dos categorías (Expectativa de la Nanomedicina; Factores incidentes en la exitosa implementación de esta tecnología).

Los tres sujetos entrevistados son denominados S1: sujeto 1; S2: sujeto 2; S3: sujeto 3.

#### **Tabla 1**

*Categorización de la información recolectada en las entrevistas*

<b>Categoría 1. Expectativa de la Nanomedicina</b>	<b>Categoría 2. Factores incidentes en la exitosa implementación de esta tecnología</b>
<p>La prospectiva para la Nanomedicina no presenta ningún retroceso, sino que, aunque lenta, se percibe como prometedora ya que existe el concepto de “nanosafety” que hace referencia a los diferentes protocolos y regulaciones que permiten darle un control a esta tecnología (S1 y S3).</p> <p>La Nanomedicina tiene la capacidad de mejorar el diagnóstico, tratamiento y terapia de diferentes enfermedades y si se llega a probar que no es sólo un “descubrimiento disruptivo” y demostrar que “son mayores los beneficios”, esta ciencia podría progresar y convertirse en una herramienta fundamental en la medicina, sin embargo, de no ser así, tardaría mucho en desarrollar procedimientos no invasivos mediados por nano robots (S1 y S2).</p>	<p>Se desconocen los efectos a largo plazo y las dificultades asociadas a la nanotoxicología, la cual ocurre por el uso de los nanomateriales (S1 y S2).</p> <p>“Los robots a pesar de tener movimientos precisos, no tienen retroalimentación de cuánta presión están insertando, entonces terminan causando más daño que mejora” (S3).</p> <p>El alto costo que requiere este tipo de procedimientos es un factor determinante en su implementación y, por otro lado, la investigación frente a este tema se centra en procedimientos específicos en vez de masivos. Es decir, el costo de dicha tecnología no bajará próximamente ya que además de ser limitada su producción, se necesita probar su fiabilidad en el ámbito</p>

<p>“[...] usé la Nanotecnología para el diagnóstico de alergias. Se creó un prototipo, que está en las últimas etapas de prueba, portable para diagnosticar alergias en tan sólo horas.” (S1)</p> <p>“Cada tipo de nanopartícula se usa para aplicaciones diferentes, pero en la actualidad lo que más se ha explorado es para tratamientos de cáncer y detección de moléculas.” (S2)</p> <p>“Materiales pequeños (no nano), como sensores, cámaras, y demás, que conforman estos procedimientos mínimamente invasivos, podrán ayudar a conseguir un mejor resultado, tener una integración de los signos vitales del paciente con el equipo y obtener mejores intervenciones.” (S3)</p>	<p>médico y poder asegurarse de que siempre funcione (S1).</p> <p>La producción local pone en riesgo el desarrollo efectivo de la Nanomedicina, puesto que a pesar de que actualmente se usan dispositivos que existen a nivel mundial, la accesibilidad y volumen que se tiene de esta tecnología no es la misma comparada con otros países más desarrollados. Además, cuando los productos se fabrican de manera local, el alcance de los productos es más limitado porque depende de la normativa y la aprobación del INVIMA (S2).</p> <p>“En resumen, lo que se usa no es de producción nacional y no se produce, porque no es fácil la aprobación por parte del INVIMA.” (S2)</p> <p>El tiempo que se tarde la nueva tecnología en “coger la curva de madurez (salir de las</p>
--	--

<p>En particular, las píldoras inteligentes, debido a su novedad y poco reconocimiento, tomarán “un buen tiempo” antes de que se masifique su uso y accesibilidad (S1).</p> <p>Los avances que se podrán percibir en el mundo y en Colombia serán a mediano plazo en los campos relacionados con estímulos magnéticos y será algo que tomará poco tiempo sobre todo porque varias ciudades en el país se han convertido en pioneras en salud, y sus hospitales están en búsqueda constante de estos progresos tecnológicos que a la vez son económicos (S2 y S3).</p> <p>“La ventaja de este dispositivo es en costo, pues la manera cuantitativa de diagnosticar alergias implica llevar la muestra al laboratorio y el uso de varios equipos y la rapidez, ya que la</p>	<p>universidades y laboratorios y volverse un hecho)” determinará el uso adecuado de la Nanomedicina ya que depende también de qué tanto se demore la ciudad en adoptarla (S3).</p> <p>“[...] se ha visto que hacemos rápidamente la transición ya que se le está apostando mucho incluso desde políticas gubernamentales a que los hospitales sean prestadores de servicios a nivel internacional debido a que tienen muchas ventajas en términos de costos para prestar esos servicios.” (S3)</p> <p>“La preocupación realmente es que los dispositivos puedan, en la práctica, hacer todo lo que en teoría se plantea.” (S3)</p> <p>“Por ejemplo los robots quirúrgicos como el Da Vinci, que dice lograr maravillas, una vez implementado se</p>
--	--



<p>prueba de laboratorio puede tomar más de una semana” (S1).</p> <p>“Igualmente, la ganancia grande que tendrá el hospital en tecnología con el proceso de intervencionismo es la posibilidad de tener más herramientas para realizar ese tipo de procedimientos poco invasivos, pero de alta complejidad” (S3).</p>	<p>evidencia que solo en un 5%, había mejoras en los casos comparado con lo que hacía un cirujano con sus propias manos.” (S3)</p> <p>La háptica es una problemática que se presenta determinante para el desarrollo de estos dispositivos ya que es una característica que solo la tiene un humano, es el poder sentir la presión con la que trata a un paciente para saber si está haciéndole daño o no (S3).</p>
---	---

### ***1.1.2 Encuestas***

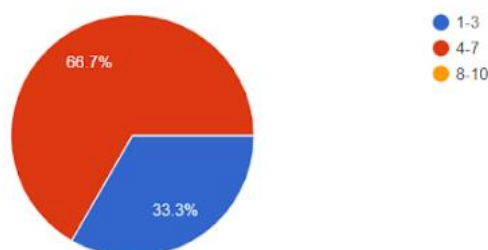
Las encuestas cerradas son aplicadas con base en la recolección de datos perteneciente a la metodología cuantitativa a tres expertos internacionales con una serie de seis preguntas. La finalidad de dicha encuesta es poder obtener una perspectiva objetiva que dé cuenta del contexto general actual de los avances en la Nanomedicina y la manera en la que estos afectan la medicina moderna mediante una serie de preguntas bajo una igualdad de condiciones. Las gráficas encontradas a continuación presentan las respuestas de los encuestados, quienes actúan como una muestra de la perspectiva general del presente y la prospectiva de la Nanomedicina.

### **Figura 3**

### *Conocimiento de la Nanomedicina desde un espectro global*

Actualmente, ¿de 1 a 10 qué tanto considera que se conoce la Nanomedicina en el mundo?

3 responses



*Figura 3: Conocimiento de la Nanomedicina desde un espectro global*

La primera pregunta busca identificar qué tanto ha logrado “popularizarse” la Nanomedicina en el mundo y saber qué tanto se conoce de esta área, que, si bien se considera nueva, en realidad lleva muchos años en su proceso de desarrollo. La finalidad de esta pregunta consiste en que los expertos encuestados den un contexto inicial sobre el nivel de conocimiento o, siendo el caso, desconocimiento en el sector para así poder tener un análisis que permita entender si el cambio que puede llegar a generar la Nanomedicina en la medicina es realmente significativo teniendo en cuenta que muchos de sus avances no se han logrado dar a conocer y, por ende, no han logrado alcanzar su auge de desarrollo y aplicación. Así pues, como se puede evidenciar, dos de los expertos (representando el 66.7% de la población) creen que la Nanomedicina es moderadamente conocida en el mundo, evaluando su conocimiento entre 4-7, mientras que solo uno de los expertos (representando el 33.3% de la población) cree que la Nanomedicina es un tema mínimamente conocido a nivel mundial, evaluando su conocimiento entre 1-3, probablemente por su novedad y especificidad.

### **Figura 4**

*Distribución porcentual sobre conocer alguna aplicación de la Nanomedicina*

¿Conoce alguna aplicación de la Nanomedicina en el manejo (de prevención, diagnóstico, monitorización, predicción, o terapia) de enfermedades?

3 responses

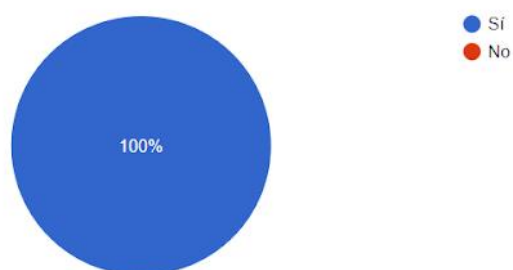


Figura 4: Distribución porcentual sobre conocer alguna aplicación de la Nanomedicina

De los 3 encuestados, el 100% conoce una aplicación de la Nanotecnología en la medicina, ya sea en la prevención, diagnóstico, monitorización, predicción, o terapia de alguna enfermedad. Esta pregunta es de suma importancia, pues permite asegurarse de que todos los expertos puedan aportar específicamente al presente proyecto desde un enfoque médico, tratando los temas de la Nanomedicina en los que entran los principales para responder a la pregunta principal: los nano robots para realizar cirugías antes consideradas invasivas, y las píldoras inteligentes para reemplazar las labores de las tradicionales. Esta pregunta además permite establecer una correlación entre la Nanomedicina y el manejo de las enfermedades desde un enfoque tecnológico, dos de los factores de mayor valor para este proyecto de investigación.

## Figura 5

*Área de aplicación que conoce el experto*

Si su respuesta fue sí, ¿qué aplicación conoce?

3 respuestas

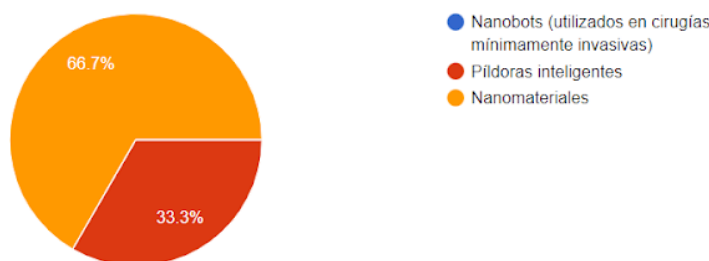


Figura 5: Área de aplicación que conoce el experto

Esta pregunta está directamente relacionada con la anterior, con el objetivo de que los expertos puedan ahondar en el tipo de conocimiento que tienen de la Nanomedicina, es decir, de la aplicación en específico que conocen. Para el análisis de esta pregunta, se dividen las respuestas en tres categorías principales: nanobots, píldoras inteligentes y nanomateriales. En las respuestas de la categoría “píldoras inteligentes”, donde se comprendieron el 33.3% de las respuestas, se menciona este factor, que a diferencia de los nano robots que no fueron escogidos por ningún experto, logran tener un índice de reconocimiento y masificación mucho más alto al ser dispositivos más útiles y eficaces a la hora de diagnosticar y tratar enfermedades dentro del cuerpo humano. Por otro lado, la categoría de “nanomateriales” fue la opción más escogida. El 66.7% de las respuestas sustentan esta idea, entre una de las razones, porque los nanomateriales hacen parte de los utensilios de nuestro día a día, desde las camisas que usamos que resisten arrugas a las chaquetas térmicas que mantienen la temperatura.

Esta pregunta permite mostrar la variedad de aplicaciones que se le pueden dar a la Nanomedicina. No obstante, aunque para los propósitos de este proyecto de investigación una de las categorías más importante es la de “píldoras inteligentes” y se apoya en el

conocimiento de uno de los expertos, la categoría de “nanobots”, que no fue escogida por ningún de ellos, también es de suma importancia en este proyecto para entender que la Nanomedicina no ha logrado del todo desempeñarse en fines quirúrgicos, y que más bien, ha logrado crear robots a gran escala (no nano) que realizan los mismos procedimientos que los humanos.

## Figura 6

### *Perspectiva sobre el impacto de la Nanomedicina en la medicina globalmente*

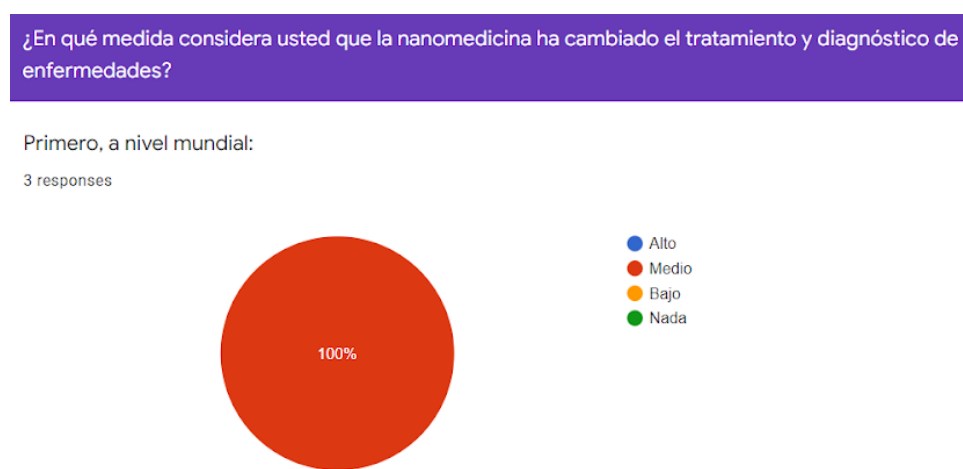


Figura 6: Perspectiva sobre el impacto de la Nanomedicina en la medicina globalmente

Desde la perspectiva de los encuestados, la totalidad de ellos consideran que, a nivel mundial, la Nanomedicina afecta los procesos de tratamiento y diagnóstico de enfermedades, impactando la eficacia y el control de dichas actividades. Esta pregunta, busca demostrar desde una perspectiva un poco más general, cómo la Nanomedicina ha logrado incidir en el sector de la medicina y cambiar la manera en la que esta opera frente al tratamiento de enfermedades y la terapia de estas con tecnologías con mayor fiabilidad y precisión.

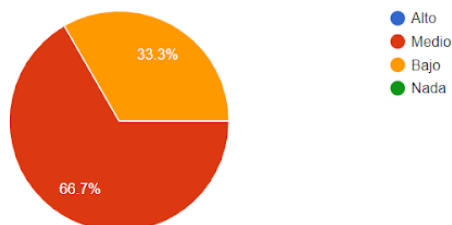
## Figura 7

*Posibilidad de que la Nanomedicina pueda llegar a reemplazar las píldoras tradicionales*

De acuerdo a los siguientes campos de acción en los que actualmente se implementa la Nanomedicina, ¿qué tanto considera que esta pueda llegar a reemplazar las tecnologías que se usan hoy en día en salud en dichos campos?

Píldoras inteligentes reemplacen las píldoras tradicionales

3 responses



*Figura 7: Posibilidad de que la Nanomedicina pueda llegar a reemplazar las píldoras tradicionales*

La figura 7, presenta una gráfica que busca discernir la posibilidad de que la Nanomedicina pueda crear píldoras inteligentes que más allá de cumplir con su determinada función, puedan reemplazar por completo las píldoras tradicionales. El 66.7% de los encuestados, hacen dar cuenta de que este hecho puede llegar a ocurrir en un nivel “medio”, esto quiere decir que la Nanomedicina no puede reemplazar completamente el uso de las píldoras tradicionales, pero puede generar un gran impacto en el uso que se les da a ellas y, por ende, reemplazar las píldoras tradicionales en los casos en los que sea extremadamente necesario. Sin embargo, se presenta también un otro panorama en el que existe un experto que considera que esta posibilidad previamente mencionada es más bien “baja”, donde hace dar cuenta de que la Nanomedicina no podrá reemplazar las píldoras tradicionales, pero tampoco se limitará a no hacer uso de las inteligentes.

### **Figura 8**

*Posibilidad de que la Nanomedicina pueda llegar a reemplazar las cirugías invasivas*

### Nanobots reemplacen las cirugías invasivas

3 responses

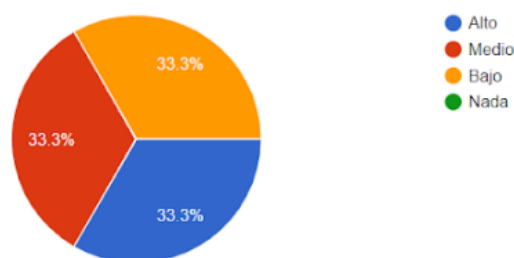


Figura 8: Posibilidad de que la Nanomedicina pueda llegar a reemplazar las cirugías invasivas

La última pregunta busca identificar la posibilidad de que la Nanomedicina pueda llegar a reemplazar las cirugías invasivas mediante el uso de dispositivos como los nanobots. Cada encuestado escogió en esta pregunta una opción diferente, de acuerdo con las estadísticas arrojadas, se puede inferir que el experto que escogió la opción “bajo” sustenta su decisión en que los nanobots están generando desarrollos significativos para la medicina, pero no necesariamente para las cirugías invasivas; haciendo deducciones objetivas, el experto que escogió “medio” considera que es un evento que puede llegar a ocurrir con el transcurso del tiempo, pero no confía del todo en el éxito que presenta en el sector específico de las cirugías invasivas; por último, es deducible que el experto que escogió “alta” entiende que es muy nuevo el desarrollo de los nanobots, pero su perspectiva es positiva teniendo en cuenta lo mucho que se ha logrado en tan poco tiempo con su desarrollo (nano robots que pueden entregar medicamentos, diagnosticar cáncer, etc).

Teniendo en cuenta los datos arrojados mediante las encuestas y entrevistas, y los diferentes modelos enunciados dentro del marco teórico, es evidente que, a través de conceptos como nanomateriales, mínimamente invasivo, píldoras, dispositivos,

Nanomedicina y Nanotecnología, se relacionan hechos y fragmentos de la investigación realizada previamente a las respuestas dadas por los sujetos durante la entrevista.

Asimismo, en la encuesta realizada a los tres expertos, los resultados demuestran que, aunque la mayoría consideran a la Nanomedicina como aquel avance imprescindible para un futuro prometedor en la medicina, no hay seguridad total de que esta tecnología tenga el verdadero potencial para llegar a reemplazar lo tradicional: píldoras y cirugías invasivas. Por consiguiente, en el marco teórico de este proyecto, se plantea el valor de la Nanomedicina en la creación de dispositivos mínimamente invasivos para la realización de cirugías y de píldoras inteligentes con funciones más precisas y específicas utilizando el contenido que estudia o que complementa esta temática, como lo es los nanomateriales, el nano diagnóstico, la economía, los nanobots, etc.

Así pues, de acuerdo con la primera pregunta de la encuesta y sustentando con la información obtenida en el marco teórico, aunque la Nanomedicina se considera relativamente nueva, lleva en realidad muchos años desarrollándose y encontrando soluciones para mejorar la calidad de vida. En consecuencia, es importante resaltar que una de estas causas es que muchos de los avances en la Nanomedicina no se han logrado dar a conocer y, por ende, no han logrado alcanzar su auge de desarrollo y aplicación. Además de esto, la tecnología y la medicina llevan trabajando de la mano desde hace más de 30 años, y los dispositivos ‘nano’ llevan haciéndolo aproximadamente desde el año 2000 cuando los nanomateriales comenzaron a comercializarse y emplearse industrialmente (Equipo Editorial Etecé, 2020).

Por otra parte, la Nanotecnología se ha transformado en un campo científico con mucho potencial y demanda en todo el mundo, incluyendo aquellos países menos



desarrollados económicamente. Esta evolución, según la teoría, ha permitido abrir paso a una variedad de aplicaciones, entre las que más destaca los nanomateriales, siendo estos “equipos más ligeros, rígidos, duraderos y resistentes” (ChemicalSafetyFacts, s.f.). Tanto en la encuesta como en la entrevista se pudo ver reflejada esta afirmación. El S2 de la entrevista afirma que cada nanopartícula es usada con un fin diferente, pero que además de ser usadas para los utensilios del día a día, son fundamentales para los tratamientos de cáncer y la detección de moléculas. También, en la encuesta se evidencia con la pregunta número 3 que la categoría de “nanomateriales” fue la opción más escogida con un 66.7% de respuestas, entre una de las razones, se encuentra no solo que los nanomateriales suelen ser uno de los temas más estudiados y conocidos por ser las bases de cualquier creación Nanotecnológica que haga o no parte de la vida diaria, desde las prendas térmicas que mantienen la temperatura a los diferentes dispositivos que permiten contribuir a la medicina.

Con relación a las cirugías invasivas, el S3 expresa en la entrevista su preocupación por que los nano dispositivos puedan, en la práctica, hacer todo lo que se plantea en la teoría, es decir, que puedan cumplir con las expectativas y realmente mejorar la eficacia y el rendimiento que no presenta un humano ya que usualmente prometen “maravillas”, pero una vez implementados se evidencia que tan solo en un 5% de los casos, comparado con lo que realiza un cirujano, existen mejoras. De hecho, en el 2020, como presenta el marco teórico, se dio a conocer en Suiza un nano robot llamado OctoMag que tenía la finalidad de generar cambios notorios en las cirugías invasivas al conducir una serie de microcirugías mientras era guiado magnéticamente, pero todo esto se limitó a la teoría, más no a la práctica.

Del mismo modo, el futuro de la Nanotecnología proyecta tanto brillo como oscuridad debido a que se prevé una expansión global tecnológica, el apoyo de los países, la inversión por entidades privadas y la demanda de dispositivos nanométricos. Sin embargo, la implementación de esta tecnología trae a luz aspectos medioambientales, sanitarios y de seguridad de la Nanotecnología, los cuales podrían obstaculizar la expansión del mercado (Grupo Iberdrola, s.f.). En efecto, según el S3, la háptica es una problemática crucial para el desarrollo de estos dispositivos ya que es una cualidad única de los seres humanos que les permite sentir la presión con la que tratan a un paciente y así evitar hacerle daño. De igual forma, los sujetos 1 y 3 coinciden en que la Nanomedicina, aunque de crecimiento lento, es prometedora ya que con la implementación de “nanosafety” (que hace referencia a los diferentes protocolos y regulaciones que permiten darle un control a esta tecnología), se puede llegar a esa expectativa evolutiva que se plantea en un inicio de manera controlada y segura.

Por añadidura, de acuerdo con la investigación llevada a cabo en el marco contextual, a pesar de la variedad de avances y ventajas que ha traído la Nanomedicina al área de la salud, los especialistas reconocen una falta de conocimiento que existe frente a las consecuencias a largo plazo y efectos negativos que puede traer esta tecnología debido a su novedad y dificultad de implementación, entre las cuales se encuentran la toxicidad implicada en el uso de nanopartículas, la impredecibilidad, los efectos desconocidos y los riesgos en la mala utilización. En relación con esto, las afirmaciones hechas por los sujetos 1 y 2, complementan esta información, afirmando que, en particular, las píldoras inteligentes, por su novedad y poco reconocimiento, tomarán “un buen tiempo” antes de masificar su uso y accesibilidad, y que, por este mismo

desconocimiento de los efectos a largo plazo, pueden surgir dificultades asociadas a la nanotoxicología. Por otro lado, la primera pregunta de la encuesta permite evidenciar que dos de los expertos (66.7% de la población) creen que la Nanomedicina es moderadamente conocida en el mundo, apoyando la falta de conocimiento por su novedad y especificidad.

Igualmente, tomando en cuenta la información teórica, las respuestas de los sujetos 1 y 2, y las respuestas a la pregunta 4 de la encuesta, es posible afirmar que la Nanomedicina tiene la capacidad de mejorar el diagnóstico, tratamiento y terapia de diferentes enfermedades para proporcionar una mejora calidad de vida, y si llega a ocurrir un “descubrimiento disruptivo” que pruebe que los beneficios son mayores que el costo, esta ciencia podría progresar y convertirse en una herramienta fundamental en la medicina con dispositivos mucho más precisos y fiables.

Por consiguiente, el concepto presentado en el marco teórico de las cirugías mínimamente invasivas se conecta claramente con la respuesta del S3 quien da a entender cómo estas cirugías pueden ser reemplazadas por nanobots (sensores, cámaras, etc) para evitar que los pacientes se enfrenten a cirugías más complejas, tengan menos dolor, tengan un reporte de datos más fiable sobre su estado, obtengan una cicatrización sana y una recuperación más rápida a comparación con las cirugías tradicionales (National Cancer Institute, s.f.). El sujeto ejemplifica esto mediante el proceso de intervencionismo que está siendo actualmente implementado en el Hospital Pablo Tobón Uribe donde se abre la posibilidad de tener más herramientas para realizar procedimientos poco invasivos, pero de alta complejidad. Sin embargo, sorprendentemente, en la encuesta que se produjo, se obtuvo una respuesta diferente por parte de cada experto a la pregunta que

trataba sobre la posibilidad de que la Nanomedicina pudiera llegar a reemplazar las cirugías invasivas. Se obtuvieron las respuestas “bajo” (es inferible que es porque aunque los nanobots están generando desarrollos significativos para la medicina, no necesariamente lo están haciendo para las cirugías invasivas), “medio” (es inferible que es porque ese reemplazo puede llegar a ocurrir con el transcurso del tiempo, pero no se confía del todo en el éxito que presenta en el sector específico de las cirugías invasivas) y “alta” (es inferible que es porque aunque se sabe que es “reciente” el desarrollo de los nanobots, su prospectiva es positiva teniendo en cuenta lo mucho que se ha logrado en tan poco tiempo con su desarrollo).

Las píldoras inteligentes han comenzado a sustituir el uso de medicamentos convencionales poco efectivos. De la misma manera, la figura 7, presenta resultados en los que el 66.7% de los encuestados, hacen dar cuenta de que la sustitución total de las píldoras tradicionales puede llegar a ocurrir en un nivel “medio”, es decir, que, aunque no puede reemplazarlas completamente, puede generar un gran impacto en el uso que se les da a la vez que reemplaza píldoras tradicionales en los casos extremadamente necesarios. El marco teórico apoya dichos resultados en el sentido en el que explica que las píldoras inteligentes poseen la capacidad de diagnosticar y tratar enfermedades dentro del cuerpo humano, y administrar medicamentos de manera controlada para eliminar efectos secundarios relacionados con la administración tradicional de medicamentos (Alliance of Advanced BioMedical Engineering, s.f.).

Adicionalmente, el costo es un factor que juega un papel crítico en el desarrollo de los procedimientos, ya que como lo expresa el S1, el alto costo que requiere este tipo de procedimientos determina su implementación. En otras palabras, se insinúa que el

costo de dicha tecnología no bajará próximamente ya que además de ser poca su producción, se necesita probar su fiabilidad en el ámbito médico y asegurarse de que siempre funcione. La teoría confirma que, aunque el procedimiento de por sí tendrá un bajo costo, pesan más sus enfoques no invasivos, el acceso a lugares remotos, mayor exactitud en los procedimientos, menos dolor y riesgo, y alto índice de efectividad.

Agregando a lo anterior, específicamente en Colombia, la Nanotecnología ha avanzado de manera exponencial, contribuyendo al desarrollo económico, social y científico, y es precisamente por esto que varios sectores académicos y gubernamentales buscan involucrarse en el tema y fortalecer sus inversiones en este. Los sujetos 2 y 3 sustentan esta afirmación mediante la percepción de que los avances en esta área se podrán percibir en el mundo y en Colombia más que todo a mediano plazo y tomará poco tiempo sobre todo porque varias ciudades en el país se han convertido en pioneras en salud, y sus hospitales están en búsqueda constante de estos progresos tecnológicos que a la vez son económicos. Además, de acuerdo con el S3, se ve que Colombia tiene la habilidad de adaptación para hacer rápidamente la transición a estos dispositivos ‘nano’ ya que se le está apostando mucho desde políticas gubernamentales a que “los hospitales sean prestadores de servicios a nivel internacional debido a que tienen muchas ventajas en términos de costos para prestar esos servicios.”

Finalmente, como presenta la investigación previamente realizada y el S2, el presente y el futuro de la Nanotecnología de Colombia depende del aprovechamiento que se les dé a los recursos que este dispone para impulsar la producción local ya que a pesar de que actualmente se usan dispositivos que existen a nivel mundial, la accesibilidad y

volumen que se tiene de esta tecnología no es la misma comparada con otros países más desarrollados.

## Conclusiones

Luego de recopilar la información en el marco teórico y realizar el análisis de los datos recogidos en la metodología, es posible obtener diversas conclusiones sobre el proyecto de investigación con el fin de responder a la pregunta inicial y los objetivos concernientes.

En Colombia, se tiene la meta de destinar casi el 2% del PIB a la investigación y desarrollo científico, que, si bien no se ha cumplido hasta el momento, ha posibilitado el reconocimiento al talento local, y el desarrollo de equipos de investigación más eficaces. En particular, en Medellín, Ruta N se unió con la Universidad de Purdue para desarrollar un Centro Nacional de Nanotecnología con el fin de innovar y traer soluciones para lidiar con problemáticas del área de la salud y cuestiones medioambientales y energéticas. Lo anterior evidencia el interés que tiene la industria local e internacional en desarrollar este tipo de innovación, lo que sin duda conlleva a un crecimiento económico.

Colombia tiene la habilidad de adaptación para hacer rápidamente la transición a dispositivos ‘nano’ y aprovechar los recursos que dispone como la biodiversidad nacional. La inversión en la Nanomedicina que ha hecho Colombia, más allá de impactar la economía contribuyó a la competitividad científica y tecnológica. No obstante, tal y como sugiere el S1, debido a su alto costo y producción limitada, no se ha tenido la oportunidad de masificar la Nanotecnología de manera local ni global, por ende, no se ha logrado realmente reemplazar las píldoras tradicionales y cirugías invasivas a escala significativa.

En cuanto al desarrollo de la biotecnología y su impacto en las cirugías invasivas y píldoras tradicionales, se evidenció en las entrevistas de los S1 y S3, que el uso de nanopartículas ha llevado a la exploración en los tratamientos de cáncer, en la detección de moléculas, y el diagnóstico de enfermedades. Un ejemplo particular es la investigación del S1 que posibilitó una

alternativa más económica y rápida en el diagnóstico de alergias. Creando entonces una revolución en el tratamiento, prevención y diagnóstico de enfermedades.

Sin duda, la Nanomedicina es el camino para seguir avanzando en la modificación de fármacos que permitan llegar de forma directa y sin dejar efectos colaterales en el resto del cuerpo, y en los dispositivos mínimamente invasivos que permitan evitar correr riesgos innecesarios y ofrecerle a los pacientes procedimientos más sencillos, seguros y precisos. Como muestra de esto, tanto en la encuesta como en la entrevista se pudo ver reflejado que aproximadamente un 66.7% de los encuestados perciben que, mediante el uso de los nanomateriales, las píldoras inteligentes han tenido la oportunidad de comenzar a sustituir el uso de medicamentos convencionales poco efectivos, y como se evidencia en la figura 7, la sustitución total de las píldoras tradicionales puede llegar a ocurrir en un nivel “medio”, es decir, que aunque probablemente no podrán ser reemplazadas por completo a corto plazo, sí generarán un gran impacto en tratamientos especializados.

Finalmente, resulta difícil generalizar la Nanomedicina como algo totalmente positivo, pues analizando algunas aplicaciones actuales de la Nanotecnología como el robot quirúrgico Da Vinci, se es evidente los beneficios de esta. Sin embargo, se desconocen los efectos a largo plazo, ya que mediante la primera pregunta de la encuesta donde el 66.7% de los especialistas creen que la Nanomedicina es moderadamente conocida en el mundo, se demuestra que existe un desconocimiento de sus efectos secundarios. De hecho, la variable de toxicidad se ve marcada frente al impacto que podría tener tanto en el ser humano como en el medio ambiente dado al uso de los nanomateriales y nanopartículas.

De igual forma, una solución a esta problemática se presentó con la creación del área de la Nanotecnología denominada “nanosafety”, que hace referencia a los diferentes protocolos y



regulaciones que permiten darle un control a estos desarrollos. Con la ayuda de esta rama de la Nanotecnología, se podría llegar a la expectativa evolutiva que se plantea la Nanomedicina de una manera controlada y segura.

## Referencias

- Anderson, M. (2020, 28 de diciembre). Minimally Invasive Devices: An Overview [Mensaje en un blog]. ATL Technology. Recuperado de <https://atltechnology.com/blog/minimally-invasive-devices/>
- Chaparro, M.C., & Vivas, O.A. (2016). Robótica quirúrgica, desde los grandes asistentes hasta la nanotecnología. *Scientia et Technica*, 21(2), 182-190.  
<https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/11641/9851>
- Chemical Safety Facts. (s.f.). Nanotecnología. Recuperado de <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/nanotecnologia/>
- Closa, D. (2019). *Nanomedicina*. RBA Libros.  
[https://books.google.com.co/books/about/Nanomedicina.html?id=\\_ozODwAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Nanomedicina.html?id=_ozODwAAQBAJ&redir_esc=y)
- Cortés, M. (2017, 16 de noviembre). Píldoras inteligentes ayudan a diagnosticar enfermedades. CIO México. Recuperado de <https://cio.com.mx/pildoras-inteligentes-ayudan-a-diagnosticar-enfermedades/>
- Cousins, S., Blencowe, N.S., & Blazeby, J. M. (2019). What is an invasive procedure? A definition to inform study design, evidence synthesis and research tracking. *BMJ open*, 9(7): e028576. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-028576>
- Cuadros, M., Llanos, A., & Villegas, R. (2010). *Nanotecnología en Medicina*. Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Andalucía.

[https://www.aetsa.org/download/publicaciones/antiguas/AETSA\\_2007-02\\_F2\\_Nanomedicina.pdf](https://www.aetsa.org/download/publicaciones/antiguas/AETSA_2007-02_F2_Nanomedicina.pdf)

De la Viña, G. (2018, 2 de mayo). Nanomedicina, la pequeña escala de un gran impacto. El Economista. Recuperado de <https://www.economista.es/andalucia/noticias/9109715/05/18/Nanomedicina-la-pequena-escala-de-un-gran-impacto.html>

De Silva, M.N. (2007). Nanotecnología y nanomedicina: un nuevo horizonte para el diagnóstico y tratamiento médico. Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología, 82(6), 333-334. [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-66912007000600002](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-66912007000600002)

Delgado, G.C., & Hernández, L.A. (2013). Avances e implicaciones éticosociales de la nanomedicina: una revisión desde el caso del cáncer cerebral. Scielo, 6(10), 63-85. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mn/v6n10/2448-5691-mn-6-10-63.pdf>

Dhiman, P. (2022). Smart Pills: Not Your Grandma's Average Capsules. Studentsxstudents. <https://studentsxstudents.com/smart-pills-not-your-grandmas-average-capsules-2b91a2d75ca>

Equipo editorial, Etecé. (2020, 4 de septiembre). Nanotecnología. Concepto. <https://concepto.de/nanotecnologia/>

European Commission. (2006, 23 de agosto). Economic Impact of Nanotechnology Based Healthcare Including Medical Devices, Medical Imaging and Pharmaceuticals.

AZoNano. <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1700>

Evans, R. (2016). What are minimally invasive devices? MedicalDesign & Outsourcing.

<https://www.medicaldesignandoutsourcing.com/minimally-invasive-devices/>

Fernández, D. (2013). Economía y nanotecnología, una relación problemática. Revista Laguna, pp. 79-88.

[https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/4360/L\\_32\\_\(2013\)\\_05.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/4360/L_32_(2013)_05.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Foglets. (2020). Edible electronics: IoT Smart Pills the future of health monitoring.

<https://foglets.com/next-generation-of-medical-implants/>

Ghosh, S. (2012). An encapsulated version of smart pill (design proposed by Phillips for its ipill). ResearchGate. [https://www.researchgate.net/figure/An-encapsulated-version-of-smart-pill-design-proposed-by-Philips-for-its-ipill\\_fig3\\_269517514](https://www.researchgate.net/figure/An-encapsulated-version-of-smart-pill-design-proposed-by-Philips-for-its-ipill_fig3_269517514)

Gómez, A. (2017). Nanomedicina y su impacto en la práctica médica. Repertorio de Medicina y Cirugía Elsevier, 26(3), 129-130. <https://www.elsevier.es/es-revista-repertorio-medicina-cirurgia-263-articulo-nanomedicina-su-impacto-practica-medica-S012173721730078X>

González, A. (s.f.). Conceptos básicos de Nanotecnología: Beneficios y Riesgos [presentación de diapositivas]. ISSGA.

[https://issga.xunta.es/export/sites/default/recursos/descargas/documentacion/material-formativo/relatorios/2016\\_06\\_Nano\\_Issga\\_Po\\_Africa\\_Gonzalez.pdf](https://issga.xunta.es/export/sites/default/recursos/descargas/documentacion/material-formativo/relatorios/2016_06_Nano_Issga_Po_Africa_Gonzalez.pdf)

González, M. (2018). Píldoras inteligentes para un mejor diagnóstico [Mensaje en un blog].

ThinkBig. Recuperado de <https://blogthinkbig.com/pildoras-inteligentes-para-un-mejor-diagnostico#:~:text=A%20trav%C3%A9s%20de%20unos%20microchips,perfecto%20aliado%20para%20nuestra%20salud>.

Grupo Iberdrola. (s.f.). Nanotecnología: una pequeña solución a los grandes problemas.

<https://www.iberdrola.com/innovacion/aplicaciones-nanotecnologia>

Grupo Semana. (2016, 15 de abril). Colombia se apunta a la revolución nanotecnológica.

Semana. Recuperado de <https://www.semana.com/tecnologia/articulo/colombia-se-apunta-a-la-revolucion-nanotecnologica/469643/>

Hernández, M.C. (2009). Nanotecnologías y sus implicaciones económicas y socioambientales.

Estudios Sociales (Hermosillo, Son), 17(34), 181-183.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-45572009000200006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572009000200006)

Hilmas, E. (s.f.). Medicamentos: qué son y para qué sirven. KidsHealth.

<https://kidshealth.org/es/teens/meds.html>

Ibrahim, S. (2021, 02 de octubre). La nanotecnología es la medicina del futuro. Swissinfo.ch.

<https://www.swissinfo.ch/spa/-la-nanotecnolog%C3%ADa-es-la-medicina-del-futuro-/46962336>

- Jaimés, S., González, A., Granados, C., Álvarez, D., & Espitia, E. (2012). Nanotecnología: avances y expectativas en cirugía. *Revista Colombiana de Cirugía*, 27(2), 158-166.  
<https://www.revistacirugia.org/index.php/cirugia/article/view/210>
- Lechuga, L. (2008). La revolución de la Nanomedicina. *Revista Sedisa*, pp. 38-43.  
[https://digital.csic.es/bitstream/10261/27998/1/038\\_043\\_Articulo\\_05.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/27998/1/038_043_Articulo_05.pdf)
- Lizcano, J. (2002). Proyecciones económicas y sociales de la nanociencia y la nanotecnología. *Encuentros Multidisciplinares*, pp. 01-06. <http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistan%C2%BA12/Jes%C3%BAs%20Lizcano%20Alvarez.pdf>
- Martínez, V., Mejía, S., Jaramillo, F., & Álvarez, M. (2014). Nanotecnología para Colombia. *Revista Nano Ciencia y Tecnología*, 2(1), 49-64.  
[https://www.researchgate.net/publication/261098256\\_Nanotecnologia\\_para\\_Colombia\\_Una\\_mirada\\_historica\\_pasando\\_por\\_el\\_contexto\\_global\\_latinoamericano\\_y\\_las\\_regiones](https://www.researchgate.net/publication/261098256_Nanotecnologia_para_Colombia_Una_mirada_historica_pasando_por_el_contexto_global_latinoamericano_y_las_regiones)
- Mayo Clinic. (2021, 11 de noviembre). Cirugía mínimamente invasiva.  
<https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/minimally-invasive-surgery/about/pac-20384771#:~:text=Descripci%C3%B3n%20general,m%C3%A1s%20corta%20y%20menos%20complicaciones>
- Minimally invasive surgery. (s.f.). National Cancer Institute Dictionaries. Disponible en  
<https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/minimally-invasive-surgery>

Oliveira, J. (2017, 10 de noviembre). Las píldoras ‘inteligentes’ que pretenden revolucionar la atención médica. El País. Recuperado de

[https://elpais.com/tecnologia/2017/10/24/actualidad/1508836176\\_558828.html](https://elpais.com/tecnologia/2017/10/24/actualidad/1508836176_558828.html)

Parmar, P. (s.f.). Nano Medicine: Meaning, Advantages and Disadvantages.

Biotechnologyquotes. <https://www.biotechnologynotes.com/nano-biotechnology/nano-medicine-meaning-advantages-and-disadvantages/809>

Pullatt, R., & White, B.L. (2019). Development and current state of robotic surgery. Pak, De Visser, & Rovira (Ed.), Living with Robots (91-118). Academic Press.

<https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/invasive-surgery>

Purdue University. (2017). A mutualistic relationship between Colombia and U.S. for Nanotechnology.

[https://www.purdue.edu/colombia/newsletters/april2017/newsletter\\_april17\\_happeningnow1.html](https://www.purdue.edu/colombia/newsletters/april2017/newsletter_april17_happeningnow1.html)

QuestionPro. (s.f.). ¿Qué es una entrevista estructurada, semiestructurada y no estructurada?

<https://www.questionpro.com/blog/es/entrevista-estructurada-y-no-estructurada/>

Rosado, M.J. (2018, 11 de noviembre). La finalidad de la metodología cuantitativa [Mensaje en un blog]. Isdfundacion.org. Recuperado de [https://isdfundacion.org/2018/11/01/finalidad-metodologia-](https://isdfundacion.org/2018/11/01/finalidad-metodologia-cuantitativa/#:~:text=La%20metodolog%C3%ADa%20cuantitativa%20est%C3%A1%20compuesta,o%20de%20sus%20representaciones%20sociales.)

[cuantitativa/#:~:text=La%20metodolog%C3%ADa%20cuantitativa%20est%C3%A1%20compuesta,o%20de%20sus%20representaciones%20sociales.](https://isdfundacion.org/2018/11/01/finalidad-metodologia-cuantitativa/#:~:text=La%20metodolog%C3%ADa%20cuantitativa%20est%C3%A1%20compuesta,o%20de%20sus%20representaciones%20sociales.)

- Shetty, P. (2010, 18 de noviembre). Nanotecnología para la salud: hechos y cifras. SciDev.  
<https://www.scidev.net/america-latina/features/nanotecnolog-a-para-la-salud-hechos-y-cifras/>
- Skyline University. (2021, 01 de febrero). Advantages & Disadvantages of Nanotechnology.  
<https://www.sun.edu.ng/knowledge-update/advantages-disadvantages-of-nanotechnology>
- Tendick, S., Sastry, S.S., Fearing, R.S., & Cohn, M. (1998). Applications of micromechatronics in minimally invasive surgery. *IEEE Xplore*, 3(1), 34-42. Doi: 10.1109/3516.662866.
- Universidad de la Sabana. (s.f.). La nanotecnología llegó para revolucionar la ciencia y el mundo que conocemos hoy. Unisabana. <https://www.unisabana.edu.co/portaldenoticias/al-dia/la-nanotecnologia-una-solucion-para-a-salud/>
- Valdivia, J.G. (2005). Nanotecnología, Medicina y Cirugía Mínimamente Invasiva. *Scielo*, 58(9), 845-850. [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06142005000900001](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06142005000900001)
- Valéry, C. (2017). ¿Cómo procesa el cuerpo las medicinas? [Video]. TED Talks.  
[https://www.ted.com/talks/celine\\_valery\\_how\\_does\\_your\\_body\\_process\\_medicine/transcript?language=es](https://www.ted.com/talks/celine_valery_how_does_your_body_process_medicine/transcript?language=es)
- Ventola C.L. (2012). The nanomedicine revolution. *National Library of Medicine*, 37(9), 512–525.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3462600/#:~:text=The%20continued%2>



development of nanomedicines, safety compared to conventional medicines.

Vincent, J. (2020). Tipos de encuestas: ¿Cuál utilizar? <https://encuesta.com/blog/tipos-de-encuestas-cual-utilizar/>

Zamudio, G.N. (s.f.). La nanotecnología en la medicina. Revista MED. <https://med-cmc.com/la-nanotecnologia-en-la-medicina/>

## Anexos

### Anexo 1 – Entrevistas

Sujeto 1 - Ingeniero Físico con Maestría en Nanociencia y Nanotecnología

Sujeto 2 - Experto en Nanotecnología y profesor de la Universidad EIA

Sujeto 3 - Ingeniero Biomédico y jefe de Ingeniería Clínica en el Hospital Pablo Tobón Uribe

#### *Andrés Forero – Sujeto 1*

1. ¿Cree usted que la prospectiva para la Nanomedicina es prometedora teniendo en cuenta que aún no se conocen bien los riesgos y desventajas que pueda conllevar su desarrollo?

Sí, creo que es prometedora. Ya que, pese a que aún desconocemos los efectos a largo plazo, podemos tener un control y prevención del uso que le damos, ya hay disciplinas y departamentos encargados de nanosafety que se encargan de todos los protocolos para este tipo de producción y residuos.

2. ¿En Colombia, tardaremos mucho en poder implementar dispositivos que reemplacen por completo las cirugías invasivas y las píldoras tradicionales? ¿Cuál es la proyección a futuro al menos acá en Medellín?

Sí, a menos que hay un descubrimiento disruptivo tardaremos en tener procedimientos no invasivos mediados por nano robots. Lo anterior es debido al alto costo de este tipo de procedimientos, y que la investigación al respecto se centra en procedimientos especializados y no los casos más masivos, lo cual implica que su costo no bajará pronto, pues la producción es limitada.

En lo que respecta a píldoras inteligentes, también tomará un buen tiempo antes de ser masificadas, ya que además de pasar el alto número de pruebas que cualquier

nueva medicina debe someterse antes de su aprobación para uso en humanos, también se necesita probar extensivamente su "reliability", que es no solo qué tan fiable es la medicina sino que siempre funcione, puesto que las píldoras inteligentes requieren (usualmente) de ciertas condiciones para operar, hay que probar que si hay cambios pequeños en las condiciones no afecte el correcto funcionamiento.

Creo que en el mundo y en Colombia podremos ver avances en la Nanomedicina en los campos relacionados con estímulos magnéticos pues ya hay buenos avances en éste.

3. ¿Qué conexión tiene la Nanomedicina con los procesos que se desarrollan actualmente en su organización de trabajo (hospital, empresa, etc)?

No actualmente, pero cuando trabajé para el LTM, que es un laboratorio francés de microelectrónica con lazos con hospitales, usé la Nanotecnología para el diagnóstico de alergias. Se creó un prototipo, que está en las últimas etapas de prueba, portable para diagnosticar alergias en tan sólo horas. La base del dispositivo son nanopartículas biofuncionalizadas de tal manera que cambian de color dependiendo de si es alérgico o no a una sustancia en específico. La ventaja de este dispositivo es en costo, pues la manera cuantitativa de diagnosticar alergias implica llevar la muestra al laboratorio y el uso de varios equipos y la rapidez, ya que la prueba de laboratorio puede tomar más de una semana.

### ***Claudia Echeverri – Sujeto 2***

1. ¿Cree usted que la prospectiva para la Nanomedicina es prometedora teniendo en cuenta que aún no se conocen bien los riesgos y desventajas que pueda conllevar su desarrollo?

A pesar de las dificultades asociadas a la nanotoxicología, es una realidad que la Nanomedicina puede mejorar muchos tipos de diagnóstico, tratamientos y se pueden proponer métodos teragnósticos. Es por lo anterior, que si se llega a demostrar que son mayores los beneficios y se incluyen las regulaciones necesarias, es posible que la Nanomedicina progrese y se vuelva una herramienta fundamental en la medicina.

2. ¿En Colombia, tardaremos mucho en poder implementar dispositivos que reemplacen por completo las cirugías invasivas y las píldoras tradicionales? ¿Cuál es la proyección a futuro al menos acá en Medellín?

Realmente a nivel local, se usan los dispositivos que existen a nivel mundial, aunque no en el mismo volumen y accesibilidad que se tiene en otros países. La diferencia fundamental está en el hecho de que sean de producción local; en ese sentido, la proyección es compleja porque depende de la normativa y aprobación del INVIMA. En resumen, lo que se usa no es de producción nacional y no se produce, porque no es fácil la aprobación por parte del INVIMA.

3. ¿Qué conexión tiene la Nanomedicina con los procesos que se desarrollan actualmente en su organización de trabajo (hospital, empresa, etc)?

En la Universidad EIA, por ser una institución de educación superior, tenemos dentro del programa de Ingeniería Biomédica, la línea de Biotecnología en Salud, donde se incluyen temas de Nanomedicina. Particularmente, se investigan diferentes tipos de nanopartículas, entre las que se incluyen, nanopartículas basadas en quitosano, nanopartículas de oro y puntos cuánticos (o “Quantum dots”). Cada tipo de nanopartícula se usa para aplicaciones diferentes, pero en la actualidad lo que más se ha explorado es para tratamientos de cáncer y detección de moléculas.

Por ejemplo, las nanopartículas de quitosano se investigan para desarrollar sistemas de liberación controlada de principios activos, usando diferentes moléculas para el tratamiento de enfermedades como el cáncer. También se investigan estrategias interdisciplinarias en las que se incluyen nano barras de oro para combinarlas con un láser (por ejemplo, terapia foto termal usando nanopartículas de oro). Y los puntos cuánticos, sirven para desarrollar biosensores ópticos.

### ***Paula Berrío – Sujeto 3***

1. ¿Cree usted que la prospectiva para la Nanomedicina es prometedora teniendo en cuenta que aún no se conocen bien los riesgos y desventajas que pueda conllevar su desarrollo?

El Hospital Pablo Tobón Uribe no trabaja con tecnología no madura (tecnología que es netamente conocida por la investigación, que no se ha desarrollado del todo o no ha sido probada). En países como los E.E.U.U., apenas se están desarrollando o planteando estos dispositivos entonces no se conocen muy bien los riesgos ya que están en los laboratorios y no se tiene completa certeza sobre su éxito o eficacia. En el punto de liberación, es decir, cuando recién sale a la luz esta tecnología, se ve que además de ser muy costosa, es muy riesgosa, ya que como no se ha probado, alguien tiene que postularse primero para ser el “conejiillo de indias”, y es por eso por lo que tarda tanto en popularizarse e implementarse. En este sentido, la nanotecnología y su desarrollo no representa ningún retroceso específico, sino que podría ser más bien algo prometedor pero lento. Hay que andar “gateando” antes de correr ya que, si se implementan de inmediato, en una cirugía, por ejemplo, podría ser mortal. Es en el momento en el que tanta gente lo comienza a usar, que baja el riesgo

y baja el costo, y acá es cuando se evidencia que su futuro podría considerarse más optimista, ya que después de esto, instituciones como el Hospital Pablo Tobón Uribe, implementan la tecnología, que ahora madura, les permite ubicar mejor sus recursos sin correr algún riesgo significativo, y se convierten más bien en pioneros de la implementación de tecnologías en Colombia en vez de pioneros de la creación de dispositivos.

Por consiguiente, después de que se implementan los dispositivos y el consumo incrementa, empieza el declive ya que ahora otra tecnología está naciendo (este es el ciclo). Por último, dentro de lo que ha leído la ingeniera, y lo que puede lograr la Nanomedicina, cree que sí va a servir muchísimo y logrará brindar un futuro prometedor, pero no sabe con certeza ya que aún no se hace uso de la Nanotecnología en el hospital, únicamente la endocápsula que reemplaza la endoscopia (Berrío, 2022).

2. ¿En Colombia, tardaremos mucho en poder implementar dispositivos que reemplacen por completo las cirugías invasivas y las píldoras tradicionales? ¿Cuál es la proyección a futuro al menos acá en Medellín?

Podría ser a mediano plazo, no algo que se demore tanto tiempo porque sobre todo Medellín se ha vuelto pionero en salud en Colombia y ahora todos los hospitales que están a la vanguardia poseen bastante tecnología. En realidad, la demora está más asociada en qué tanto se demora esa tecnología en coger la curva de madurez (de salir de las universidades y volverse un hecho) que en qué tanto nos demoremos como ciudad en adoptarla porque se ha visto que hacemos rápidamente la transición ya que se le está apostando mucho incluso desde políticas gubernamentales a que los

hospitales sean prestadores de servicios a nivel internacional debido a que tienen muchas ventajas en términos de costos para prestar esos servicios. La preocupación realmente es que los dispositivos puedan, en la práctica, hacer todo lo que en teoría se plantea; por ejemplo, los robots quirúrgicos como el Da Vinci que dice lograr maravillas, pero una vez implementado se evidencia que solo como en el 5% de los casos había mejoras comparado con lo que hacía un cirujano con sus propias manos (ahí el costo no compensaba el beneficio). Además de esto, estos robots presentan un problema que es la háptica (lo tiene solo un humano, que puede sentir si está haciendo daño. Los robots a pesar de tener movimientos precisos no tienen retroalimentación de cuánta presión están insertando, entonces terminan causando más daño que mejora). En Colombia, no depende de si podremos adoptar la tecnología en sí, sino de la capacidad que disponemos de poner en práctica lo que teóricamente se plantea (Berrío, 2022).

3. ¿Qué conexión tiene la Nanomedicina con los procesos que se desarrollan actualmente en su organización de trabajo (hospital, empresa, etc)?

El método de intervencionismo que se usa actualmente en el hospital no es Nanomedicina, sino un acercamiento que tiene un enfoque mínimamente invasivo.

Igualmente, la ganancia grande que tendrá el hospital en tecnología con el proceso de intervencionismo es la posibilidad de tener más herramientas para realizar ese tipo de procedimientos poco invasivos, pero de alta complejidad.

Materiales pequeños (no nano), como sensores, cámaras, y demás, que conforman estos procedimientos mínimamente invasivos, podrán ayudar a conseguir un mejor resultado, tener una integración de los signos vitales del paciente con el equipo y obtener mejores

intervenciones. Pero como tal, la Nanomedicina aún no se ha implementado (Berrío, 2022).