

## CONCEPCIONES DE NANOMEDICINA EN ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN SECUNDARIA

### CONCEPTIONS OF NANOMEDICINE IN STUDENTS OF SECONDARY EDUCATION

Daniel Alejandro Valderrama<sup>1</sup>  
Camilo Arturo Suarez Ballesteros<sup>2</sup>  
Nidia Yaneth Torres Merchán<sup>3</sup>  
Julián David Umbarila Benavides<sup>4</sup>

#### Resumen

Se presenta la fase del diagnóstico de un proyecto de investigación que busca utilizar la nanomedicina para la enseñanza de la Física en cursos de 10 y 11 de bachillerato de colegios rurales de Boyacá, Colombia. La nanomedicina hace parte de la nanotecnología, y usa conceptos de la física, biología y química entre otras áreas, para realizar desarrollos tecnológicos aplicados a la salud humana. Este aspecto interdisciplinar, contribuye a abordar conceptos que permiten mantener una visión interconectada de los cursos de física, biología y química, lo cual puede motivar a los estudiantes a aprender física desde aplicaciones de la nanotecnología, se reconocen por tanto los conceptos sobre nanomedicina que poseen estudiantes de educación secundaria. En los resultados se evidencian; percepciones de la nanomedicina como una herramienta más sensitiva y selectiva que la medicina tradicional, para el tratamiento de enfermedades.

**Palabras clave:** educación secundaria, enseñanza de la ciencia, evaluación de conocimientos previos, nanomedicina, tecnología médica.

#### Abstract

It presents the diagnostic phase of a research project that seeks to use nanomedicine to teach physics in 10th and 11th year secondary school classes in rural schools in Boyacá, Colombia. Nanomedicine is part of nanotechnology, and uses concepts from physics, biology, and chemistry, among other areas, to make technological developments applied to human health. This interdisciplinary aspect helps to address concepts that allow to maintain an interconnected vision of physics, biology, and chemistry courses, which can motivate students to learn physics from nanotechnology applications, thus recognising the concepts of nanomedicine that secondary school students have. The results show perceptions of nanomedicine as a more sensitive and selective tool than traditional medicine for the treatment of diseases.

**Keywords:** secondary education, science education, prior knowledge assessment, nanotechnology, medical technology.

Recepción: Agosto de 2022 / Evaluación: Septiembre de 2022 / Aprobado: Octubre de 2022

<sup>1</sup> Licenciado en Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Docente en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Email: [daniel.valderrama@uptc.edu.co](mailto:daniel.valderrama@uptc.edu.co). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3360-3890>

<sup>2</sup> Doctor en Física. Docente en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Email: [camilo.suarez@uptc.edu.co](mailto:camilo.suarez@uptc.edu.co). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2467-1429>

<sup>3</sup> Doctora en Didáctica de las ciencias exactas y experimentales. Docente en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Email: [nidia.torres@uptc.edu.co](mailto:nidia.torres@uptc.edu.co). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4813-6428>

<sup>4</sup> Licenciado en Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Investigador de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Email: [julian.umbarila@uptc.edu.co](mailto:julian.umbarila@uptc.edu.co). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0601-1427>

### Introducción

La nanociencia tiene su génesis gracias al Richard Phillips Feynman quien en una conferencia de la sociedad Americana de Física en el Instituto de Tecnología de California, plantea la siguiente pregunta “¿Por qué no podemos escribir los 24 volúmenes completos de la enciclopedia británica en la cabeza de un alfiler?” Dando así no solo una perspectiva distinta sino también una posibilidad de manipular, controlar y fabricar objetos desde una escala atómica (Alassia et al., 2014; Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2013).

La nanociencia estudia la materia a escala nano ( $10^{-9}$  m) y la nanotecnología aplica conceptos interdisciplinarios para la comprensión, manipulación y fabricación de objetos cuyas dimensiones van desde unos pocos nanómetros hasta alrededor de los cientos de nanómetros, para aplicaciones en salud, medio ambiente, agroindustria, electrónica, comunicaciones.

La escala nano, como escala de longitud, se utiliza en unidades de medida que van desde los 0,1nm hasta los 100 nm, es decir, 1 nanómetro (abreviado como 1 nm), es una milmillonésima parte de un metro, definición que resulta algo abstracta.

En el año 2004 se publicó: “La nanociencia es el estudio de los fenómenos y manipulación de materiales a nivel atómico, molecular y macromolecular, donde las propiedades pueden ser muy diferentes a las presentadas en una escala mayor” (The Royal Society, 2004). Una de las aplicaciones nanotecnológicas es la nanomedicina, la cual aplica los conceptos interdisciplinarios de la nanociencia para aplicaciones en el diagnóstico, tratamiento, prevención de enfermedades y lesiones traumáticas para aliviar el dolor (European Science Foundation, 2005). Estos conceptos y herramientas nanotecnológicas se utilizan para diseñar nanomateriales que sean selectivos en la marcación de células cancerígenas, este tipo de materiales acompañados de técnicas de imagen contribuyen a efectuar un seguimiento y adquirir la información de la morfología de este cúmulo de células y de esta manera aplicar metodologías para destruir solo este tipo de células sin afectar células sanas, evitando que la enfermedad se propague a sus estados más avanzados (Kim, 2018).

Conceptos como la funcionalización de los nanomateriales abarcan fenómenos de la física, química y biología, que aplicados permiten la activación del nanomaterial en condiciones específicas en el cuerpo humano (Yoshida & Lahann, 2008). Por ejemplo, un nanomaterial se puede funcionalizar física o químicamente uniendo a su superficie biomoléculas como proteínas, aptámeros, anticuerpos específicos, fluoróforos, etc., para que de esta manera adquieran funciones de tratamiento, diagnóstico o terapia en los tejidos o células de interés médico (Ku et al., 2010; Veerapandian & Yun, 2011).

### Diseño de Nanomateriales en Nanomedicina

El diseño adecuado de estos nanomateriales es crucial en nanomedicina para conocer y caracterizar sus propiedades fisicoquímicas como estabilidad (Barhoum et al., 2018), morfología, carga superficial (Barhoum et al., 2018), dispersión de tamaño (DeLoid et al., 2017), solubilidad (Barhoum et al., 2018), biodispersión (Chen & Riviere, 2017) y posible toxicidad (Rycroft et al., 2018). En ejemplos concretos para la liberación de fármacos en el cuerpo humano, los fármacos pueden ser incorporados en nanopartículas por medio de la funcionalización por enlaces covalentes o adsorbidos electrostáticamente en su superficie. Lo fundamental a este punto, es conocer qué tipo de nanomaterial (metálico, óxido metálico, polimérico, semiconductor, etc.) y propiedades se quieren usar para el tratamiento, diagnóstico o terapia desde la nanomedicina. Otra interesante aplicación es la interacción de la radiación electromagnética con nanomateriales metálicos para la generación de calor debido a la excitación electrónica (Kim et al., 2016). Este calor es aprovechado en nanomedicina para destruir selectivamente células cancerígenas, en un proceso llamado

fototerapia (Chen & Cai, 2015). Las radiaciones óptimas para estas aplicaciones en pacientes están en la radiación infrarroja-cercana (650 nm a 900nm), ya que esta radiación penetra los tejidos, donde la radiación no afecta la hemoglobina y el agua ya que tienen un coeficiente de absorción bajo en esta radiación (Chen & Cai, 2015).

### Nanomedicina y Educación

La nanomedicina es interesante en el diseño de metodologías didácticas para educación media, usando como área conceptual principal las propiedades físicas de los nanomateriales en problemas diagnóstico, tratamiento y terapia. Estos campos están relacionados con problemáticas actuales, nacionales e internacionales, y requieren de la participación de expertos que los aborden con una visión inter y multidisciplinaria.

Se analizan los conceptos básicos que poseen estudiantes de educación secundaria en Colombia sobre la nanomedicina, la capacidad de contextualización de estos en situaciones particulares y se identifican las relaciones de interdisciplinariedad entre los conceptos de las ciencias naturales y desarrollos tecnológicos en la escala nanométrica con aplicación médica. Por lo anterior, este texto tiene como propósito identificar los conceptos previos sobre nanomedicina en estudiantes de Educación secundaria.

### Metodología

Esta investigación se desarrolla con base en el paradigma cualitativo (Gurdián Fernández, 2010) busca descubrir categorías y patrones en torno a un objeto de estudio cambiante, el cual, para este caso son los conceptos que poseen estudiantes de secundaria respecto a la nanomedicina. En su momento se tomarán algunos insumos de los métodos cuantitativos para la agrupación y análisis estadístico de algunos datos.

En este diagnóstico participaron 60 estudiantes de educación básica secundaria con edades entre los 15 y los 21 años, tal como se indica en la Figura 1, el cuestionario fue aplicado a estudiantes activos en instituciones educativas del departamento de Boyacá e Itagüí Antioquia en Colombia. Dichos estudiantes fueron seleccionados aleatoriamente, mediante un método de muestreo no probabilístico.

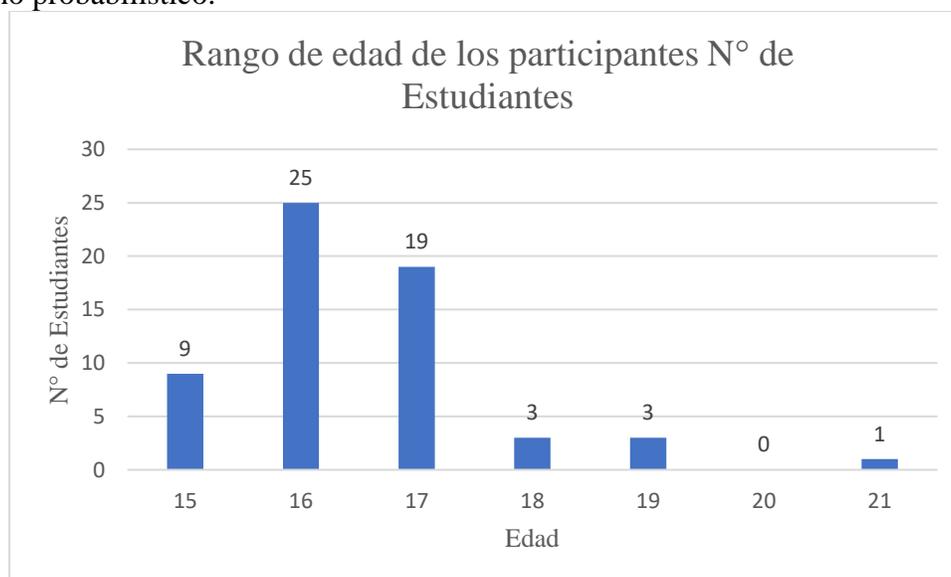


Figura 1: Edad de los estudiantes participantes

Fuente: Los autores.

Con el propósito de garantizar la diversidad contextual en términos geográficos, se involucraron 7 instituciones educativas, distribuidas en el territorio colombiano en 2 ciudades principales, Tunja Boyacá e Itagüí Antioquia, (Área metropolitana de Medellín) y 2 municipios Aquitania y Coper Boyacá, 46 de los estudiantes pertenecen a instituciones de carácter rural y 14 estudiantes pertenecen a instituciones de carácter urbano.

El desarrollo metodológico se da desde la estructuración y aplicación de un cuestionario de conceptos adaptado del estudio realizado por Nassani et al., (2020). De acuerdo con las diferencias etarias y contextuales de la población con este estudio, se estructuraron 6 preguntas que conforme se muestra en la tabla 1, están planteadas desde 2 categorías que compilan información demográfica, conceptos básicos y aplicaciones de la nanomedicina.

*Tabla 1 Categorías estipuladas para el diseño del cuestionario de conceptos*

Sesión	Preguntas	Propósito	Categoría
1. Contextualización de conceptos de la nanomedicina a partir de la noticia científica: “ <i>Un nanofármaco bloquea las células de la leucemia sin dañar las sanas.</i> ” (Anexo 1)	1. ¿A que hace referencia la palabra Nanomedicina?	Reconocer los conceptos de la física y la nanomedicina que poseen los estudiantes, especialmente en términos de las escalas y las propiedades fisicoquímicas que presenta la materia en las mismas	Conceptos básicos
	2. ¿Cuáles son las diferencias entre un nanofármaco y un fármaco tradicional?		
3. ¿Cuál sería el tamaño aproximado del nanofármaco?			
4. En términos de propiedades fisicoquímicas de los materiales, ¿Qué diferencias existen entre los materiales a escala nano y la escala en metros (En la que nos encontramos)?			
	5. ¿Crees que el tratamiento propuesto es más efectivo que los tratamientos tradicionales? ¿Por qué?	Compilar los conocimientos sobre aplicaciones de la nanomedicina que los estudiantes poseen y logran deducir desde la noticia científica.	Aplicaciones de la nanomedicina
	6. ¿Cómo hacen los investigadores para construir este tipo de nanofármacos?		

Los resultados se analizaron teniendo en cuenta el modelo propuesto por Nassani et al., (2020).), estableciendo 5 niveles conceptuales de que van desde el desconocimiento de la respuesta o la incoherencia de esta, hasta la respuesta correcta y completa que recoge el concepto científico, en algunos ítems no se tuvieron en cuenta respuestas copiadas de internet o con plagio de alguno de los compañeros, las mismas se excluyeron de las figuras y el análisis.

*Tabla 2: Niveles conceptuales utilizados en la clasificación de las respuestas*

<i>Nivel conceptual</i>	<i>Descripción</i>
0	<i>No presenta respuesta.</i>
1	<i>La respuesta del estudiante es incoherente o sin contexto respecto a la pregunta.</i>
2	<i>La respuesta utiliza algunos conceptos de la nanomedicina, pero no son utilizados con coherencia</i>
3	<i>La respuesta descrita está planteada desde las percepciones generalmente tomadas de medios de comunicación del estudiante pero incorrecta desde el enfoque de la nanomedicina</i>
4	<i>En la respuesta se hace uso coherente de algunos conceptos junto con percepciones propias de los estudiantes</i>
5	<i>La respuesta del estudiante presenta conceptos completos y los complementa con explicaciones adicionales, correctas desde el enfoque de la nanomedicina.</i>

Para el desarrollo de esta investigación se garantizaron los derechos legales y constitucionales de los participantes, ya que el estudio no represento ningún riesgo a su integridad y la participación dentro del mismo fue voluntaria, garantizando a la privacidad de los participantes, anonimizando sus respuestas y no colectando datos personales que permitieran individualizarlos. A las respuestas se les dio un tratamiento estadístico de agrupación anónima y los participantes fueron informados de los objetivos de la investigación y los procesos mencionados en este apartado, en el caso de los menores de edad, se informó y solicito autorización de igual manera a los padres y tutores. Los autores de esta publicación garantizan que no existe ningún conflicto de intereses frente a la misma.

### **Resultados**

A continuación, se presenta los resultados del diagnóstico, de acuerdo con las categorías mencionadas:

#### **Conceptos básicos de nanomedicina**

Para la identificación de los conceptos básicos sobre nanomedicina se realizó una contextualización desde la noticia científica “Un nanofármaco bloquea las células de la leucemia sin dañar las sanas” (Redacción médica, 2020) esta noticia contextualiza algunos de los conceptos de las preguntas, sin dar definiciones explícitas de los mismos.

### ¿A que hace referencia la palabra nanomedicina?

De acuerdo con Bondarenko et al. (2021) “la nanomedicina es una subdisciplina de la nanotecnología que estudia los fenómenos, mecanismos y diseños de ingeniería en la escala nano, aplicados a la medicina” es decir al diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades, conceptualizaciones muy cercanas a esta fueron dadas por cerca de 19 estudiantes (ver figura 2) con respuestas como; E25: “Una parte de la medicina que con nano fármacos ayudan a detener, extraer o eliminar células como las dañadas con leucemia (Sic)”, E29 “La nanomedicina es la ciencia que estudia un tratamiento médico para un ser vivo. Se refiere a la creación de tratamientos para una enfermedad con nanopartículas que se pueden dirigir únicamente a las células enfermas”. En las respuestas se aprecia una contextualización del concepto que involucra el estudio de los mecanismos, los diseños de ingeniería, la escala y la aplicación de esta tecnología nano a la medicina.

Por su parte algunos estudiantes plantean que la nanomedicina E21 “Es la que ataca directamente a las células tumorales sin dañar las sanas”, si bien esta es una aplicación de la nanomedicina, el estudiante omite detalles acerca de la misma sobre la forma e incluso la escala que se utiliza. Algunas otras respuestas del nivel conceptual 4 estarían dadas por generalidades, por ejemplo, E57 plantea que nanomedicina “Hace referencia al uso de la tecnología en la creación y elaboración de medicamentos o procesos médicos(sic)”. Si bien lo anterior es cierto, otras ramas de la tecnología también cumplen con ese objetivo, por lo que se omite un detalle importante que es la escala nano, en general 17 estudiantes tuvieron respuestas de este tipo.

Estudiantes como E3 responde “Al diagnóstico implementado en base a la nanotecnología (sic)”. Hay acercamientos pero no hay claridad entre los conceptos, mientras que estudiantes como E5 responde que nanomedicina “es la medicina basada en tecnología del tamaño de células (sic)”, E6 “es una aplicación de la nano biología (sic)” E56 “Hace referencia como a una cura contra la leucemia muy efectiva que no daña las buenas (sic)” Estas explicaciones son coherentes para los estudiantes y tocan algunos aspectos desde la nanomedicina, pero desde la óptica científica no responden a la pregunta ¿qué es nanomedicina? Dentro de esta categoría se encontraron 14 respuestas, finalmente 3 estudiantes no respondieron esta pregunta y 6 dieron respuestas incoherentes respecto a la misma tales como E53 “Está expresando en un porcentaje elevado de células leucémicas de pacientes con el mal pronóstico (sic)” o E36 “No sé (sic)”

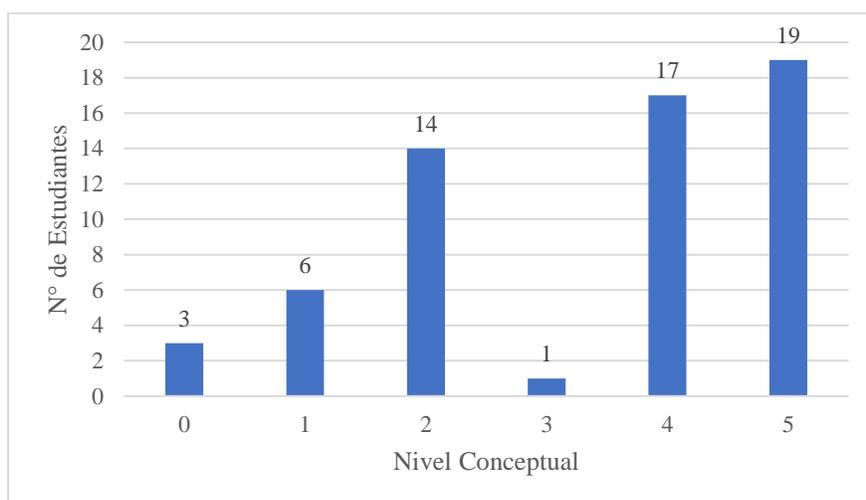


Figura 2: Respuesta de los estudiantes frente a la pregunta ¿A que hace referencia la palabra nanomedicina?

### ¿Cuáles son las diferencias entre un nanofármaco y un fármaco tradicional?

Esta pregunta involucra la diferenciación entre las propiedades de la materia a diferentes escalas, uno de los aportes conceptuales que sostienen la delimitación de los estudios de materiales a escala nano, Liz-Marzán & Kamat, (2003) plantean que los materiales que se encuentran en un rango nanométrico es decir entre uno y varios cientos de nanómetros, poseen propiedades diferentes a las de los átomos o moléculas individuales, así como la de materiales a granel o en escala métrica, por lo que con base en este argumento se puede establecer dicha escala como objeto de estudio con sus particularidades epistemológicas.

La diferencia en dichas propiedades plantea un reto conceptual para los estudiantes de secundaria quienes en su mayoría relacionaron las diferencias desde el tamaño, los beneficios y dificultades que presentan los nanofármacos, pero no las propiedades de una u otra escala. la figura 3 muestra como 5 estudiantes alcanzan niveles conceptuales bien estructurados, que se desenvuelven en respuestas como; E1: *“Los nano-fármacos tienen como diferencia principal la capacidad de marcar a un objetivo específico en lugar de general como los fármacos quimioterapéuticos comunes (sic)”*. por su parte E3 asegura que; *“El nano fármaco reconoce la alteración sobre la célula y actúa sobre la misma, mientras que el fármaco tradicional no reconoce el tipo de célula sobre el que actúa (sic)”* estas respuestas reconocen en gran medida las diferencias en términos de la forma en la que actúan los nanofármacos en contrastación con los fármacos tradicionales y devela una comprensión del objetivo de estos nanofármacos.

Algunos estudiantes encontraron las diferencias entre estos dos tipos de fármacos desde la efectividad de estos y plantearon respuestas que no siempre involucran conceptos o cuyas explicaciones se quedan incompletas frente a la pregunta, en este nivel 2 se encuentran 22 estudiantes con respuestas muy similares a: E31: *“La diferencia que hay entre nano-fármaco y fármaco tradicional es que nanofármaco es 100 veces más potente que el fármaco tradicional (Sic)”*. De igual forma algunas de estas respuestas estuvieron dadas desde ejemplificaciones particulares de la lectura, pero la diferencia solo se conceptualiza desde la eficacia del tratamiento, entendida por los estudiantes como potencia. E45. *“Un nano fármaco está formado por nano partículas unidas a una toxina, llamada auristatina y es 100 veces más potente que el fármaco tradicional (Sic)”*

Con respecto al nivel 3 se clasificaron las respuestas de 17 estudiantes, quienes explicaron desde su lógica las diferencias, careciendo de un fundamento científico coherente, por ejemplo, E10: *“Que el primero es químico y el otro es biológico (Sic)”*, E13: *“Que los nano-fármacos pueden ser mucho más fuertes que los fármacos normales (Sic)”* Estas respuestas obedecen a una lógica de sentido común de los estudiantes, pero no son claras frente al concepto científico, no existe una medida de fuerza en los fármacos, como tampoco se cumple la premisa de que los nanofármacos sean de tipo Biológico.

Por otra parte, entre los 11 estudiantes ubicados en el nivel 2, se encontraron respuestas como, E12 *“Un nanofármaco es utilizado para tratamientos y el fármaco sirve para prevenir o curar una enfermedad (sic)”* E25: *“Un nano fármaco es mucho más pequeño que un fármaco normal, lo que posibilita el ingreso del fármaco a lugares donde un fármaco no puede acceder (Sic)”* , dichas respuestas pueden ser coherentes para los estudiantes sin embargo no son consecuentes con la realidad científica en el primer caso los fármacos en general buscan prevenir o mitigar una enfermedad, pero este no es un elemento clasificatorio para diferencias nanofármacos de fármacos normales, por otro lado no es cierto que a los fármacos normales les cueste acceder a una determinada zona del cuerpo, pero si es correcto afirmar que los nanofármacos, son más específicos frente a la región o zona donde deben atacar a la enfermedad.

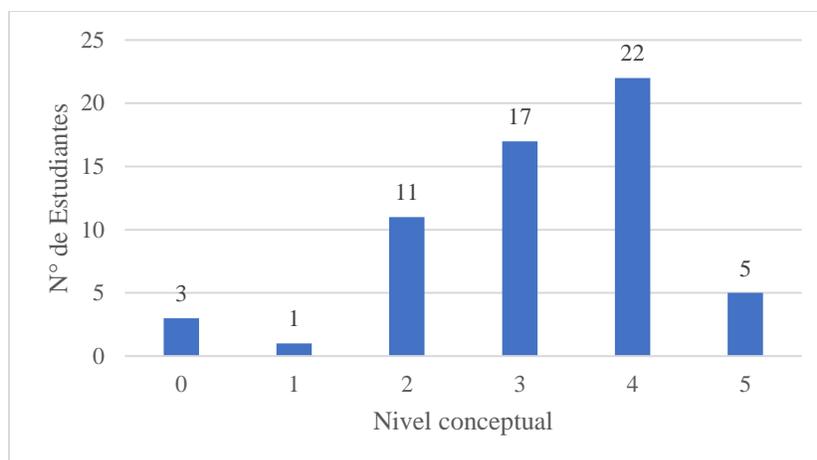


Figura 3: Niveles conceptuales de los estudiantes frente a la pregunta *¿Cuáles son las diferencias entre un nanofármaco y un fármaco tradicional?*

### ¿Cuál sería el tamaño aproximado del nanofármaco?

En el mismo sentido de la pregunta anterior, esta recae sobre la importancia de la escala en la definición de las propiedades de la materia, de acuerdo con Rojas-Aguirre et al., (2016) un nanofármaco es una estructura de aproximadamente 10 a 800 nanómetros (nm) que transporta y entrega fármacos de manera controlada o que se usa para reparar o remplazar un tejido dañado, frente a estos conceptos se pudo encontrar, como lo muestra la figura 4, 18 estudiantes se ubicaron en el nivel 5, con algunas respuestas como; E3, E9, E10, E12, E19, E21: “1 - 1000 nm (sic)” dicho de múltiples maneras los estudiantes de este nivel coincidieron en que el tamaño estaba dado en nanómetros y que oscilaba entre 1nm y 1000 nm.

Por su parte, 8 estudiantes ubicados en el nivel 4, propusieron respuestas a las que les faltó ciertos complementos para su claridad conceptual total, por ejemplo, E8: “Tiene que estar en la escala de nanómetro ósea menor a diez a la menos nueve (sic)” En este caso el estudiante reconoce la escala, pero desconoce las unidades a las que se refiere el “diez a la menos nueve” por lo que no se puede evaluar correctamente el concepto. Otras respuestas de este nivel tales como E11, E31, E32, E33; Coinciden en que el tamaño de un nanofármaco es de 1nm y E48 plantea que el tamaño es inferior a 1nm, incoherente frente al tamaño de un fármaco que esta entre 1nm y 800nm aproximadamente por lo que se hace necesario fortalecer ese concepto en los estudiantes.

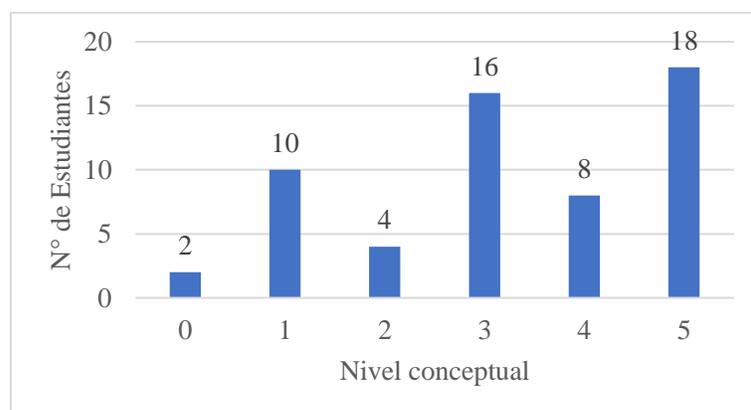


Figura 4 Nivel conceptual de los estudiantes frente a la pregunta *¿Cuál sería el tamaño aproximado del nanofármaco?*

**En términos de propiedades fisicoquímicas de los materiales, ¿Qué diferencias existen entre los materiales a escala nano y la escala en metros (En la que nos encontramos)?**

En la escala nano, el punto de fusión disminuye, esto afecta al comportamiento termodinámico del volumen de la nanopartícula. Los átomos de la superficie necesitan menos energía para moverse porque hay menos átomos en el interior de la nano partícula y necesitan menor energía para vencer las fuerzas interatómicas de atracción. Otras propiedades están dadas por los efectos ópticos causados por el tamaño de la nanopartícula metálicas y semiconductoras, frente a la interacción con luz en diferentes frecuencias. El superparamagnetismo son propiedades que adquieren las nanopartículas magnéticas, elevada conductividad térmica, la fotocatalisis, el aumento de la dureza y resistencia, entre otros, cuando interactúa con campos magnéticos alternos. (Cuvás 2020, Cabello 2019)

Con función en estas propiedades, se pudo que algunos estudiantes, reconocen los factores que producen las diferencias entre los materiales en las dos escalas, por ejemplo; E10: *"Los factores que producen estas propiedades exóticas, derivadas de su muy pequeño tamaño, son: Tamaño a escala nano métrica, Mayor área superficial relativa, Efecto de confinamiento cuántico, Forma, Composición química, Química de las superficies de la masa y de las interfaces (Sic)" E4; Por su parte enuncia que "El tamaño, forma, composición química, efecto de confinamiento cuántico, etc.(sic)"* Son algunas de las diferencias que existen entre las dos escalas.

La figura 5 muestra que la son pocos los estudiantes que estuvieron en los niveles conceptuales superiores, en el nivel 4 se encontraron respuestas, acerca de las dificultades de uso de los materiales, como lo muestra E14; *"La diferencia es que los procesos a escala nano son mucho más complejos esto es por su tamaño, por lo que para realizarse deben ser por un experto mientras que los materiales a escala en metros facilitan su uso (Sic)"* o la utilidad de la escala como lo plantea E48: *"La escala nano tienen mayor posibilidad de navegar por los confines del cuerpo gracias a su área superficial relativa debido a que la escala en metros tiene mayor diámetro esta área superficial no aumentará (Sic)"*

En el nivel 3 se encontraron respuestas muy cercanas a la de E25; *"El nano es muchísimo más pequeño tanto como para necesitar un microscopio para poder verlo, el metro es una medida visible a nuestros ojos sin necesitar ayuda de un instrumento para poder verlo (Sic)"* y otras referentes a la utilidad de la escala como E37 *"La escala nano se puede enfocar un punto del cuerpo las células dañadas con más asertividad pero escala de en metros se maneja una parte del cuerpo más grade en donde esta dañada (Sic)".* 12 estudiantes por su parte, ubicados en el nivel dos, como lo muestra la figura 5; continúan planteando respuestas de diferencia limitadas al tamaño, por ejemplo, E5. *"La única diferencia física que estos tendrían sería el tamaño ya que es muy reducido"* en el nivel 1 se ubicaron estudiantes con respuestas como; E23: *"Que nano es algo micro pequeño además se diferencia en nano que cuenta la medida sería masa y en metros sería la medida (Sic)"* o E18: *"con el nano metro se pueden medir objetos de 10cm y en el metro se pueden medir hasta 100 cm (sic)"*.

Se hace evidente por tanto que la mayoría de los estudiantes no reconocen o confunden las diferentes escalas de medición, también desconocen las propiedades fisicoquímicas de los materiales y a relación que tienen estas con el tamaño o escala en la cual se encuentra el material.

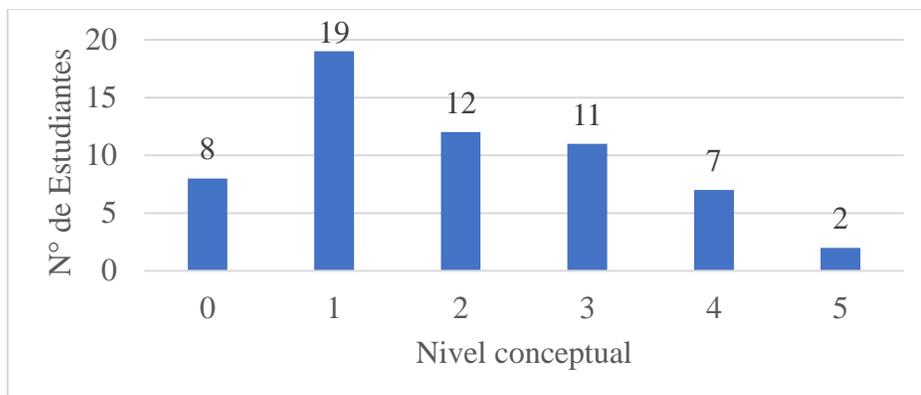


Figura 5: Nivel conceptual de los estudiantes frente a la pregunta *¿Qué diferencias existen entre los materiales a escala nano y la escala en metros?*

### Aplicación de los conceptos

Respecto a la aplicación de los conceptos relacionados con la nanomedicina se encontraron las siguientes percepciones:

#### **¿Crees que el tratamiento propuesto es más efectivo que los tratamientos tradicionales? ¿Por qué?**

Ante esta pregunta dos estudiantes coincidieron en que es más efectivo el tratamiento con nanofármacos argumentando de forma similar a la respuesta de E11: *“...si se aplican correctamente pueden llegar a ser más efectivos (los nanofármacos) que los fármacos tradicionales, porque estos nano-fármacos pueden diferenciar las células sanas de las afectadas, aparte de que son más potentes, teniendo esto en cuenta es un gran beneficio y avance (Sic)”* como se aprecia en la figura 6, estos dos estudiantes se ubicaron en el nivel 1, 15 estudiantes, ubicados en el nivel 2, relacionaron que E49: *“(El tratamiento con nanofármacos)...Si es más efectivo por que las nanopartículas destruyen completamente las células dañadas y los tratamientos tradicionales dejan secuelas, donde se pueden volver a regenerar tejidos defectuosos (Sic)”* o E1: *“Es más efectivo ya que evita muchos daños colaterales que pueden traer los tratamientos tradicionales como la quimioterapia que termina afectando por error a otras células que se reproducen rápidamente como las del cabello (Sic).”* Se hace evidente el argumento de que los tratamientos tradicionales generalmente presentan mayor cantidad de efectos colaterales, sin embargo, no se relacionan razones más precisas sobre la efectividad del tratamiento con nanofármacos, se evidencian en las respuestas la creencia de que, porque el tratamiento es más reciente, no presenta efectos colaterales y es más efectivo.

En la figura 6, también se aprecia que 14 estudiantes tuvieron respuestas conceptuales ubicadas en el nivel 3, estas similares a la de E37, quien menciona: *“(los tratamientos) ...Son iguales el tratamiento tradicional daña muchas células buenas y el tratamiento propuesto es más sano porque solo ataca las células leucémicas por esto es más sano este tratamiento”* otros como E45 *“Si, porque hay estudios que comprueban la eficacia de estos fármacos a diferencia de los tratamientos tradicionales”* Desde la perspectiva de la primer respuesta, no diferencian eficacia entre los dos, pero plantean que el tratamiento con nanofármacos, afecta regiones específicas, en la segunda perspectiva los estudiantes no reconocen el método científico como base de los dos tipos de tratamientos, planteando que los tratamientos tradicionales no se han desarrollados desde estudios de eficacia.

En el nivel 2 se encontraron respuestas mucho más generales, como las de E9; *“Si, ya que los nano fármacos actúan muchas más que los tradicionales (sic)”* o E12; *“Si por qué son más avanzados y tienen más efectividad a la hora de tratar una enfermedad”*. En el nivel I las respuestas fueron muy cercanas a lo planteado por E56; *“Si por qué es más potente”* o E7; *“si”*. En estas dos categorías se encuentran cerca de 25 estudiantes de los entrevistados, demostrando la necesidad de fortalecer la argumentación frente a las respuestas, habilidad que requiere a su vez un avance en la comprensión de los conceptos y procesos de la nanomedicina, ya que Como lo demuestra Oropesa-Núñez & Ulises-Javier (2012) un nanofármaco brinda soluciones a viejos problemas asociados con la solubilidad, biodisponibilidad, inmunocompatibilidad y citotoxicidad de muchos de los medicamentos de uso tradicional, lo que permite mejorar la función terapéutica de los fármacos, reducir las dosis necesarias y evitar muchas de las reacciones adversas. El argumento científico para lo anterior recae sobre las propiedades de la materia en esa escala, planteadas anteriormente y las respuestas a esta pregunta muestran coherencia con el desconocimiento sobre dichas propiedades que se evidencio en la categoría anterior.

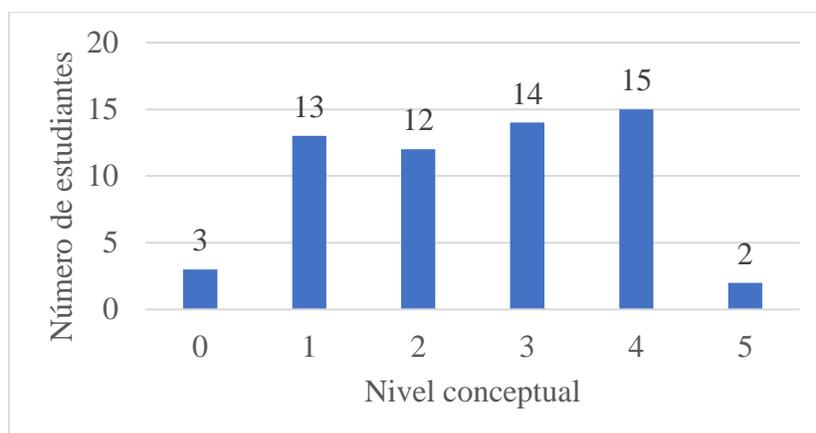


Figura 6: Niveles conceptuales de los estudiantes frente a la contrastación de efectividad entre los tratamientos tradicionales y el tratamiento con un nanofármaco

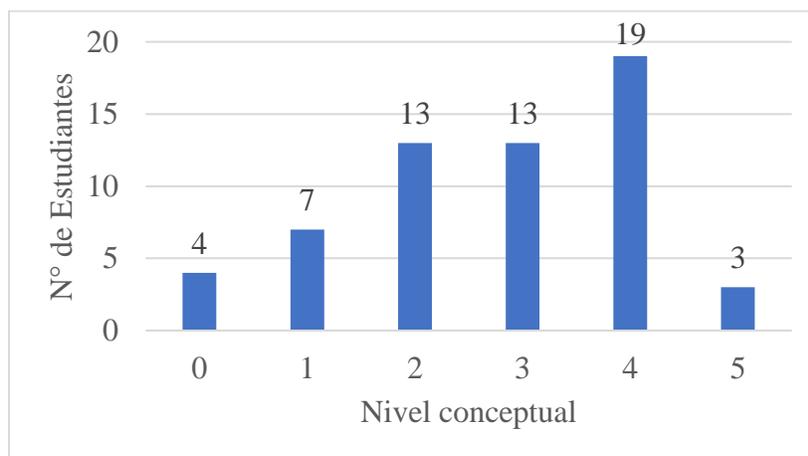
### ¿Cómo hacen los investigadores para construir este tipo de nanofármacos?

Respecto a los métodos utilizados para la producción de estos nanofármacos, tal como se aprecia en la figura 7 en el nivel 5 se ubicaron 3 estudiantes con respuestas como; *“Los investigadores identifican a las células afectadas que en este caso son células leucémicas para las cuales desarrollan un nano fármaco formado por partículas unidas a una toxina (auristatina) que es entre 10 y 100 veces más potente que un fármaco común (sic)”* y E62: *“con la nueva tecnología, se puede atacar a la célula afectada, gracias al reconocimiento de la identidad química que se expresa en determinadas proteínas en la membrana celular, por lo que estos fármacos reconocen esa alteración y actúan sobre la misma (sic)”* Esta respuesta es cercana a la idea de la segunda respuesta, en la que se plantea que para el diseño del nanofármaco, se debe tener en cuenta la identidad química de la célula infectada; sin embargo las respuestas no describen las dimensionalidades ni propiedades del nanomaterial

La mayoría de los estudiantes tuvieron respuestas ubicadas en el nivel conceptual 4, mostrando algún paso o aspecto para tener en cuenta en la estructuración del nanofármaco, por ejemplo, E11; *“Primero se hacen modelos o simulaciones en computadora de estructuras de átomos para llegar a lo que se busca y después se pasa a hacerse en la vida real (Sic)”*, otros estudiantes como E34 tomaron el ejemplo particular del texto, para explicar el proceso *“Los*

*investigadores han desarrollado el nanofármaco para que esté vaya dirigido específicamente a las células leucémicas para formar una nanopartícula que está unida a una toxina llamada auristatina” (Sic).*

En los niveles restantes, se encuentran respuestas como, Nivel 3 E14 *“me imagino que los hacen por medio de partículas que se procesan por aparatos tecnológicos y alteran para que después de ingresar al cuerpo tengan una función determinada”* o E38 *“Los investigadores duran varios años en constante investigación para lograr construir un nano-fármaco de este tipo, porque requiere de una muy delicada construcción por qué va a tratar una enfermedad grave, de la cual se espera que el nano-fármaco sea la cura (sic)”* en el Nivel 2 se dieron respuestas como E7 *“Con máquinas especiales y tecnologías avanzadas (sic)”* La respuesta evidencia cómo el estudiante imagina el trabajo de ciencia y tecnología, producto de estudios rigurosos.



*Figura 7: Niveles conceptual de los estudiantes frente a la pregunta ¿Cómo hacen los investigadores para construir este tipo de nanofármaco?*

### Conclusiones

La mayoría de los estudiantes presentan deficiencias conceptuales en cuanto al manejo de escalas, geometrías, formas y tamaño de los nanomateriales, muchos generalizan las mediciones inferiores a un centímetro en términos como micrómetros, de igual forma ante este desconocimiento, no conciben la diferencia de propiedades fisicoquímicas de los materiales en una u otra escala.

Los estudiantes reconocen las potencialidades de la integralidad de la ciencia en el desarrollo de soluciones tecnológicas para el tratamiento de enfermedades, ya que perciben que los tratamientos nanotecnológicos son más efectivos que los convencionales, argumentando que los nanomateriales tienen una interacción más eficiente con las biomoléculas que presentan las células afectadas.

Este diagnóstico deja ver que la nanomedicina es un tema de motivación para los estudiantes, aspecto que permite valorar otras formas de enseñanza de la física que es el propósito del proyecto denominado nanomedicina un enfoque interdisciplinar para la enseñanza de la física en el que se busca la comprensión en temas como Ondas electromagnéticas, Espectro Electromagnético, propiedades físicas, químicas y ópticas de la escala nano, desde aplicaciones de la nanomedicina como nanofármacos, nanopartículas de oro en el tratamiento del cáncer, entre otros.

### Referencias bibliográficas

- Alassia, M. E., Munuce, A. C., Reviglio, A., Seferian, A., Silvestri, S. O., & Soria, L. R. (2014). Nanotecnología hoy: El desafío de conocer y enseñar. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.11.002>
- Barhoum, A., García-Betancourt, M. L., Rahier, H., & Van Assche, G. (2018). Physicochemical characterization of nanomaterials: Polymorph, composition, wettability, and thermal stability. In *Emerging Applications of Nanoparticles and Architectural Nanostructures: Current Prospects and Future Trends* (pp. 255–278). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-51254-1.00009-9>
- Bondarenko, O., Mortimer, M., Kahru, A., Feliu, N., Javed, I., Kakinen, A., Lin, S., Xia, T., Song, Y., Davis, T. P., Lynch, I., Parak, W. J., Leong, D. T., Ke, P. C., Chen, C., & Zhao, Y. (2021). Nanotoxicology and nanomedicine: The Yin and Yang of nano-bio interactions for the new decade. *Nano Today*, 39, 101184. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2021.101184>
- Cabello, Á. D. (2019). Preparación de nanopartículas de ferrita y estudio de propiedades magnéticas y magnetotérmicas (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).
- Chen, F., & Cai, W. (2015). Nanomedicine for targeted photothermal cancer therapy: Where are we now? In *Nanomedicine* (Vol. 10, Issue 1, pp. 1–3). Future Medicine Ltd. <https://doi.org/10.2217/nmm.14.186>
- Chen, R., & Riviere, J. E. (2017). Biological and environmental surface interactions of nanomaterials: characterization, modeling, and prediction. *Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 9(3), e1440. <https://doi.org/10.1002/wnan.1440>
- Cuvas Limón, J. M. (2020). Estudio de las propiedades ópticas de nanopartículas plasmónicas fotodepositadas sobre fibras ópticas bajo la influencia de un campo coherente (Bachelor's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).
- DeLoid, G. M., Cohen, J. M., Pyrgiotakis, G., & Demokritou, P. (2017). Preparation, characterization, and in vitro dosimetry of dispersed, engineered nanomaterials. *Nature Protocols*, 12. <https://doi.org/10.1038/nprot.2016.172>
- European Science Foundation. (2005). Scientific Forward Look on Nanomedicine. *European Science Foundation Policy Briefing*, 23(February), 1–6.
- García Betancourt, M. L. (2017). Perspectivas para la innovación en educación con nanociencia y nanotecnología. *Revista de Educación y Desarrollo*, 41, 93–101. [http://www.cucs.udg.mx/revistas/edu\\_desarrollo/antiores/41/41\\_GarciaBetancourt.pdf](http://www.cucs.udg.mx/revistas/edu_desarrollo/antiores/41/41_GarciaBetancourt.pdf)
- Gurdián Fernández, A. (2010). El paradigma cualitativo en la investigación socio educativa. <http://repositorio.inie.ucr.ac.cr/jspui/handle/123456789/393>
- Kim, D.-H. (2018). Image-Guided Cancer Nanomedicine. *Journal of Imaging*, 4(1), 18. <https://doi.org/10.3390/jimaging4010018>
- Kim, J., Kim, J., Jeong, C., & Kim, W. J. (2016). Synergistic nanomedicine by combined gene and photothermal therapy. In *Advanced Drug Delivery Reviews* (Vol. 98, pp. 99–112). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2015.12.018>
- Ku, S. H., Ryu, J., Hong, S. K., Lee, H., & Park, C. B. (2010). General functionalization route for cell adhesion on non-wetting surfaces. *Biomaterials*, 31(9), 2535–2541. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2009.12.020>
- Lammers, T., Aime, S., Hennink, W. E., Storm, G., & Kiessling, F. (2011). Theranostic nanomedicine. *Accounts of Chemical Research*, 44(10), 1029–1038. <https://doi.org/10.1021/ar200019c>

- Liz-Marzán, L. M., & Kamat, P. V. (2003). Nanoscale Materials. En L. M. Liz-Marzán & P. V. Kamat (Eds.), *Nanoscale Materials* (pp. 1–3). Springer US. [https://doi.org/10.1007/0-306-48108-1\\_1](https://doi.org/10.1007/0-306-48108-1_1)
- Nassani, N., El-Douaihy, Y., Khotsyna, Y., Shwe, T., & El-Sayegh, S. (2020). Knowledge, Perceptions, and Attitudes of Medical Residents Towards Nanomedicine: Defining the Gap. *Medical Science Educator*, 30(1), 179–186. <https://doi.org/10.1007/s40670-019-00837-8>
- Oropesa-Nuñez, R., & Ulises-Javier, J.-H. (2012). Las nanopartículas como portadores de fármacos: Características y perspectivas Nanoparticles as drug carriers: characteristics and perspectives. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 43.
- Rojas-Aguirre, Y., Aguado-Castrejón, K., & González-Méndez, I. (2016). La nanomedicina y los sistemas de liberación de fármacos: ¿la (r)evolución de la terapia contra el cáncer? *Educación Química*, 27(4), 286–291. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.07.002>
- Rycroft, T., Trump, B., Poinsette-Jones, K., & Linkov, I. (2018). Nanotoxicology and nanomedicine: making development decisions in an evolving governance environment. *Journal of Nanoparticle Research*, 20(2), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s11051-018-4160-3>
- The Royal Society. (2004). Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties. In The Royal Society (Ed.), London the Royal Society The Royal Academy of Engineering Report (1st ed., Vol. 46, Issue July). <https://doi.org/10.1007/s00234-004-1255-6>
- Veerapandian, M., & Yun, K. (2011). Functionalization of biomolecules on nanoparticles: specialized for antibacterial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 90(5), 1655–1667. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3291-6>
- Yoshida, M., & Lahann, J. (2008). Smart nanomaterials. *ACS Nano*, 2(6), 1101–1107. <https://doi.org/10.1021/nn800332g>