

Retos y perspectivas para la enseñanza de las nanociencias y nanotecnología en el bachillerato

Challenges and perspectives for teaching nanoscience and nanotechnology in high school

Fernando Flores-Camacho,^{*}† Eduardo José Vega-Murguía,^{*}
Jesús Manuel Cruz-Cisneros,^{**} Leticia Gallegos-Cázares,^{*}

ABSTRACT: This exploratory study is about high school students' difficulties in representing objects and processes on the nanoscale. Their knowledge about the relevance and implications of nanoscience and nanotechnology, their relationships with different areas of knowledge, and their interest in incorporating this field into the science school curriculum were analysed. A questionnaire was built incorporating previous research questions and new ones and was applied online during the COVID-19 pandemic, and to other sample post-pandemic with students returned to school. Results show that the nanoscale objects and processes are the most difficult for them. Students conceive that physical laws are applicable in all scale spectrums showing a misunderstanding of the fundamentals of physics. The relevance of nanoscience and nanotechnology for science and technology and their implications for the modern way of life are clear to students. However, their interest that this topic should be incorporated into the curriculum is not enthusiastic. Some suggestions about teaching awareness to be considered to teach nanoscience are proposed in the analysis of results.

KEYWORDS: nanoscience, science education, high school.

RESUMEN: En el presente estudio exploratorio se analizan las dificultades de los estudiantes del bachillerato para la representación y ubicación de objetos y procesos en nanoescala, así como sus concepciones sobre las nanociencias y nanotecnología en cuanto a sus implicaciones y áreas del conocimiento con las que se relaciona. También se analiza su interés para que este campo se introduzca curricularmente en el bachillerato. Para ello, se construyó un cuestionario que se aplicó en línea a alumnos de bachillerato durante la pandemia de COVID 19 y, posterior a la misma, con los estudiantes ya de forma presencial en la escuela. El cuestionario incorpora algunas preguntas de investigaciones previas y otras nuevas. Los resultados detallan los rangos de escala en la que los estudiantes presentan mayores dificultades, tanto en la determinación del tamaño de objetos como de procesos. También se encontró que, en su mayoría, generalizan las leyes físicas a toda escala. Se muestra que los alumnos tienen clara la importancia de las nanociencias y la nanotecnología en el desarrollo científico y tecnológico, así como para la vida cotidiana, pero no muestran interés porque se incorporen al currículo de ciencias del bachillerato. En el escrito se establecen algunas sugerencias sobre aspectos educativos a considerar para incorporar en este nivel educativo la enseñanza de las nanociencias.

PALABRAS CLAVE: nanociencias, enseñanza de las ciencias, bachillerato.

Recibido: 25 de abril, 2022. Aceptado: 10 de diciembre, 2022. Publicado: 23 de marzo, 2023.

^{*} Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología.

^{**} Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Ciencias y Humanidades-Sur.

† Autor de correspondencia: fernando.flores@icat.unam.mx



Introducción

Entre los campos científicos y tecnológicos con un notable desarrollo en las últimas décadas se encuentran la nanociencia y la nanotecnología (NyN). Ambos campos son interdisciplinarios y están estrechamente relacionados. Sus avances tienen implicaciones diversas y relevantes en medicina, ambiente, energía, tecnologías digitales, materiales y en muchas otras áreas del conocimiento.

La gran cantidad de aplicaciones y avances científicos de las NyN han impulsado a diversos países y comunidades científicas a desarrollar programas y propuestas orientadas hacia la inclusión en la formación de los jóvenes, de aspectos básicos de la nanociencia y nanotecnología (Greenberg, 2009). Estos esfuerzos se han encaminado, principalmente, hacia los niveles medio superior y superior, con apoyos especiales a profesores (Jackman *et al.*, 2016), e, incluso, con su incorporación en los currículos de ciencia —de manera adicional o incluyendo tópicos en los temas tradicionales. También se han llevado a cabo programas internacionales como el desarrollado por la comunidad europea bajo el nombre de *IRRESISTIBLE* (<http://www.irresistible-project.eu>), en programas nacionales de formación docente como en Taiwan (Lan, 2012) o el caso colombiano que ha desarrollado un programa para niños, en el cual, estos interactúan con instrumentos de observación y medición de escalas pequeñas (Rodríguez y Ávila, 2011). Una síntesis de los primeros logros y avances de los proyectos estadounidenses está descrita en Greenberg (2009), donde se describen trabajos en torno a la integración de las nanociencias en *high school* y en *college*, así como en el desarrollo de profesores. Jackman *et al.* (2016), por su parte, sintetizan recomendaciones provenientes de diversas propuestas como inspirar a los alumnos a visualizar qué es y qué no es posible en nanociencias, promover modelos relevantes que impactan en la sociedad, promover la colaboración global en el campo educativo y promover, también, que se tengan experiencias tempranas dentro y fuera del laboratorio.

Proyectos como los señalados se han dirigido, principalmente, a la formación y actualización docente. Algunos, con la participación de comunidades de aprendizaje en las cuales se integran docentes con especialistas de diversas disciplinas (Sgorous y Stavrou, 2019). Otros, con cursos de formación tanto presenciales como a distancia (Lan, 2012; Blonder y Mamlok-Naman, 2016). Desde luego, hay también proyectos cuyos principales objetivos son los de proporcionar a los alumnos información sobre estos campos como las lecturas de la NBC (NBC Learn) y muchos otros esfuerzos individuales de profesores en diversos países.

En México, no se tiene noticia de proyectos a gran escala para introducir en las escuelas de enseñanza media superior y superior las NyN. Hay algunos esfuerzos individuales, como el caso de Meinger (2019) que trata el tema con alumnos del bachillerato con una estrategia basada en artículos de divulgación. Sin embargo, esos esfuerzos no son colegiados, esto es, no son llevados a cabo por colectivos de docentes o bien institucionales y, como en muchos

campos, la alfabetización científica en nuestro país queda atrás en el tiempo y en los logros que debieran y pudieran llevarse a cabo para mejorar la enseñanza de las ciencias.

Debido a lo anterior y a la importancia cada vez mayor de las NyN en todos los ámbitos, es necesario fomentar la incorporación de estos campos en la enseñanza de las ciencias en diversos niveles escolares, si bien con esfuerzos incipientes y de corto alcance, pero sin perder de vista lo importante de analizar a qué tipo de problemas de aprendizaje —de comprensión y conceptuales— se enfrentarán las propuestas diversas que puedan llevarse a cabo para introducir en las escuelas las nanociencias y la nanotecnología.

Antecedentes

Como se ha descrito, hay diversos proyectos para incorporar las NyN a la formación de profesores y estudiantes en diversos países. Asimismo, la investigación sobre lo que ocurre en las aulas se ha centrado en los profesores, con énfasis en cómo las incorporan en el aula (Lan, 2012; Blonder y Mamlol-Naaman, 2016; Sgouros y Stavrou, 2019) y en los temas que consideran relevantes (Sakhnini y Blonder, 2018). Las investigaciones sobre los alumnos en cuanto a los problemas y dificultades que presentan para comprender las NyN son aún escasas, por lo cual no se tienen instrumentos estandarizados. Se sabe muy poco de las representaciones que los alumnos tienen para interpretar la información y actividades relacionadas con NyN.

A continuación, se describirán, de manera breve, algunos hallazgos de esas investigaciones. Uno de los proyectos tomados como base para averiguar sobre las concepciones y dificultades de los alumnos es el proyecto *IRRESISTIBLE*, mencionado previamente. Entre los primeros estudios está el elaborado por Shank, Wise, Stanford y Rosenquist (2009) donde se analizan las ideas de los estudiantes sobre su comprensión en temas como filtros solares, filtros de partículas, energía solar y tamaño y escala, y que participaron en uno de los programas de ese proyecto. Los resultados muestran mejoras en todos los temas tratados. En un desglose, en términos de lo que aprenden y lo que se les dificulta, obtuvieron:

Avances presentados:

- Diferenciar que hay propiedades diferentes entre la materia en nanoescala y macroescala.
- Los beneficios y posibles contras de la nanotecnología.
- Determinar cómo los filtros solares son distintos con nanotecnología que sin ella.
- Las diferencias entre lo que filtran los filtros cuya dimensión se sitúa en la escala nanométrica (bacterias, etc.) a diferencia de los filtros estándar.
- Algunos aspectos de las celdas solares.

Problemas presentados:

- Que no se pueden trasladar los principios científicos de la macroescala a la nanoescala.
- Entender la interacción de la luz con la materia, que hace que las cosas cambien de color, problemas de tamaño y escala.
- Comprender las fuerzas dominantes a escala nanométrica.
- Pueden describir en general las cosas pero no explicarlas, y tienen problemas con otros conceptos fundamentales de las disciplinas científicas.

Como podrá apreciarse, una de las dificultades principales es la escasa o nula conexión que hacen los estudiantes de los conceptos y relaciones básicas de las ciencias (física, química y biología) con los procesos en escala nanométrica, si bien son capaces de reconocer algunas de las diferencias entre lo que ocurre en esa escala y en la macroscópica, así como algunos beneficios de las nanociencias .

En el estudio de Magnana, Brophy y Bryan (2012) se analizaron los procesos de comparación y de establecimiento de relaciones de proporcionalidad a diferentes escalas. Parten de que, previamente, se sabe que los alumnos después de lo micro, no tienen ninguna aproximación adecuada y todo parece ser lo mismo en cuanto a diferenciar tamaños y escalas con lo que explican, en parte, el traslado de propiedades macroscópicas a escalas nano y atómicas que se encuentra en los alumnos.

Sus resultados muestran que, si bien en términos cualitativos, los estudiantes (primer año de licenciatura) pueden ordenar adecuadamente tamaños y escalas, conforme se va pasando a otros niveles de comparación (muy pequeños y muy grandes) entre los objetos, los fallos son mayores, indicando que, aun en estudiantes de nivel superior, la construcción de un sistema coherente que relacione tamaños y escalas sigue siendo un problema que hay que abordar.

Sobre la comprensión de las nanociencias en lo que respecta a las escalas pequeñas en exhibiciones de museo, se cuenta con el estudio de Sánchez-Mora y Tagüeña (2011), basado en una exhibición sobre nano escalas, en la que emplean ejemplos con imágenes de objetos y sus diferentes escalas y una escala comparativa, todo sobre ejemplos con humanos, plantas, etc. Los resultados muestran que la exhibición del museo es poco efectiva para que los alumnos generen una perspectiva de lo que implican las escalas y los tamaños a los que corresponden. Sin embargo, también muestra que se obtienen mejores resultados cuando se analizan imágenes siguiendo un caso, como el de un árbol hasta el átomo de carbono o el de una jeringa, y las bacterias y virus que contiene hasta el ADN.

Un estudio más específico sobre los modelos que construyen los alumnos para representar la fricción entre superficies a diferentes escalas incluyendo la nano escala, es el de De Guzman y Sanjay (2019), quienes llevaron a cabo un estudio cualitativo donde analizan los modelos que los alumnos construyen para representar cómo ocurre la fricción entre los materiales. Lo que

muestra el estudio son las dificultades de abordar los temas a pequeñas escalas y cómo los diversos modelos que surgen pueden afectar la comprensión de los procesos a escalas nano o atómica.

Como puede notarse, los alumnos presentan dificultades que, en algunos casos, provienen de otras ideas previas correspondientes a cada una de las disciplinas científicas (Adadan, Akaygun y Sanyal, 2017) pero, además, aparecen otras relacionadas con sus representaciones a escalas micro y nano y otras que tienen que ver con su traslado de lo macro a lo micro en cuanto a procesos y propiedades de la materia.

Planteamiento del problema

Resultados como los mostrados en las investigaciones descritas dan cuenta de las dificultades de comprensión de los alumnos de diversos niveles escolares cuando se analizan objetos y procesos a escala muy pequeña (desde luego también a escala muy grande), no son resultados sorprendentes sino esperados. No obstante, para introducir propuestas de enseñanza de las NyN en un nivel escolar específico, como en el bachillerato, es necesario conocer con mayor detalle los problemas particulares que presentan los alumnos. Por ejemplo, conocer cuál es el límite en el que no logran diferenciar las escalas pequeñas: si logran relacionar las escalas pequeñas con su nomenclatura, si son capaces de clasificar e identificar algunas entidades físicas con su tamaño, por mencionar algunos.

Otro de los aspectos necesarios por comprender de los alumnos es su posibilidad de relacionar procesos en escala pequeña con leyes y conceptos. Por ejemplo, las fuerzas que se aplican en las distintas escalas, o si todas las leyes físicas son aplicables en los procesos físicos en todas las escalas.

Además de lo anterior, hay aspectos generales relevantes por develar sobre esa población estudiantil, como saber qué información tienen sobre las implicaciones y aplicaciones de las NyN y las ciencias con las que se relacionan, así como su interés para que estos temas sean llevados a la escuela.

Para abordar esos aspectos se llevó a cabo el presente estudio exploratorio, en el cual se desarrolló y aplicó un cuestionario y su análisis a alumnos de bachillerato, y en el que se contemplan dos cuestiones: 1) las dificultades para enseñar NyN que abarcan los aspectos sobre comprensión de escalas, identificación de procesos y su relación con propiedades de la materia, aplicación de las leyes físicas en diversas escalas, y, 2) las percepciones de los alumnos, donde se abordan los temas de relación de las NyN con diversas áreas del conocimiento, sus implicaciones y aplicaciones, así como el interés que tienen para que las NyN sean incorporadas en sus actividades escolares.

Los ejes temáticos que orientaron el cuestionario son:

- Cómo se representan de manera comparativa las diversas escalas correspondientes a los tamaños inferiores a lo macro.

- Reconocimiento y diferenciación de procesos que ocurren en las escalas pequeñas: micro, nano y atómica.
- Reconocimiento y diferenciación de las propiedades de la materia, leyes y relaciones que se aplican en las escalas pequeñas comparadas con las del nivel macro.
- Conocimiento de las nanociencias y la nanotecnología, y los campos en los que se investiga.
- Conocimiento del impacto de la nanociencia y nanotecnología.
- Interés por la nanociencia y nanotecnología.

Método

Muestra

La muestra se estableció en dos etapas. La primera, que denominaremos M-C19 (muestra encuestada durante la pandemia), consistió de dos grupos escolares ($N = 35$) del sexto semestre del CCH-Sur. Los alumnos cursaban la materia de física y, dada las condiciones de la pandemia del COVID-19, la aplicación del cuestionario se llevó a cabo en línea. El profesor de los grupos fue quien presentó el cuestionario, dio las indicaciones y el propósito del cuestionario, a lo cual todos los alumnos dieron su consentimiento. La segunda etapa llevada a cabo con fines de comparación, consistió de una muestra 45 alumnos que denominaremos M-PC19 (muestra PostCovid 19), en la cual se procuró tener condiciones similares a la primera, como tomar clase con el mismo profesor, mismo turno y semestre escolar, y llevarse a cabo en línea. La aplicación del cuestionario a esta segunda muestra se llevó a cabo postpandemia, año y medio después. Ninguna de las muestras recibió intervención alguna previa sobre el tema de las nanociencias y nanotecnología, como lo hizo constar el profesor de los grupos, pues el propósito era conocer, en las condiciones habituales de los alumnos en sus cursos regulares, los problemas de comprensión a los que se enfrentarían posibles propuestas de enseñanza sobre esta temática.

Cuestionario

El cuestionario consistió en 11 preguntas: la primera parte del cuestionario acerca de las dificultades sobre las NyN consta de siete, de las cuales, las primeras cuatro abordaron temas sobre escalas y procesos, y, las siguientes tres, sobre las propiedades de la materia y las leyes físicas. En la segunda parte se abordan las percepciones de los alumnos y constó de las cuatro preguntas restantes (ver anexo).

Para garantizar la comprensión de las preguntas por los alumnos de ese nivel escolar, se aplicó el cuestionario previamente a un conjunto pequeño de alumnos distintos a los de la muestra, gracias a lo cual se realizó un ajuste a varias de las preguntas.

Proceso de análisis

Para el análisis de los resultados se elaboró una rúbrica con el fin de asignar valores a los resultados de los cuestionarios aplicados, y garantizar que no hubiese desviaciones en la consideración de las respuestas. Esta rúbrica es un indicador para cada pregunta. En el cuadro 1, se presenta un ejemplo de la rúbrica.

CUADRO 1. Ejemplo de la estructura de la rúbrica. Se muestra la pregunta 3 del cuestionario.

3. A qué escala piensas que ocurren los siguientes procesos: a) Emisión de luz de un led _____; b) división de una célula _____; c) evaporación del agua _____																	
El orden de magnitud al que ocurren estos fenómenos corresponde a la dimensión del objeto donde ocurren. Se valora que el alumno exprese el valor de uno o dos órdenes de magnitud próximos al nivel del objeto donde ocurre el fenómeno:																	
En la pregunta a), el fenómeno es al nivel atómico o de la red cristalina que forma un semiconductor, por lo cual la respuesta correcta se considera que está en el orden de una décima de un ángstrom o 0.01 nm.																	
En la pregunta b), el tamaño de la célula puede ser desde una micra hasta 100 micras, por lo cual se puede considerar que la respuesta correcta está dentro ese orden de magnitud.																	
Y, en la pregunta c), la evaporación del agua es la separación de las moléculas de agua de su fase líquida para formar vapor de agua. Al estar el tamaño de una molécula de agua entre 3 y 5 ángstroms, se puede considerar que la respuesta correcta es entre 1 y 10 ángstrom o, equivalentemente, de 0.1 a 1 nanómetro.																	
Para la valoración de cada pregunta, se asigna el número 1 cuando es correcto o el número 0 cuando no lo es. En la tabla se muestran los intervalos de las respuestas correctas de las tres preguntas y debajo de ellas los valores máximos con que se valoran al ser correctas.																	
<table border="1"><thead><tr><th colspan="3">Pregunta 3</th></tr><tr><th>a</th><th>b</th><th>c</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.01 a 0.1</td><td>1 a 100</td><td>0.1 a 1</td></tr><tr><td>nm</td><td>micras</td><td>nm</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></tbody></table>			Pregunta 3			a	b	c	0.01 a 0.1	1 a 100	0.1 a 1	nm	micras	nm	1	1	1
Pregunta 3																	
a	b	c															
0.01 a 0.1	1 a 100	0.1 a 1															
nm	micras	nm															
1	1	1															

Fuente: Elaboración de los autores.

Como es un estudio exploratorio con dos muestra pequeñas, el análisis es principalmente cualitativo, por lo cual solo se determinaron porcentajes y/o frecuencias de respuesta para describir las características de los resultados, y para organizar jerárquicamente los temas de acuerdo con el nivel de conocimiento que, de cada uno, presentaron los alumnos, así como detallar algunas respuestas textuales de los alumnos y sus implicaciones en cuanto a los posibles orígenes de los problemas de comprensión que se presentan.

Resultados y análisis

Como se ha descrito, el cuestionario presenta diversas partes para determinar las aproximaciones que tienen los alumnos del bachillerato en cuanto a los aspectos de escala, procesos, relación con los elementos básicos de las ciencias y sus percepciones y conocimientos generales de los usos y aplicaciones de las nanociencias y la nanotecnología.

Estos temas se abordan para contar con un panorama que permita tener elementos para conocer los retos y dificultades que se pueden enfrentar en la enseñanza de las nanociencias en este nivel educativo y con la finalidad de ir un poco más allá de la divulgación, como es su incorporación, en alguna medida, en el currículo de ciencias de los bachilleratos.

El análisis está dividido en dos partes. La primera da cuenta de los elementos y dificultades que se esperarían de inicio, para abordar temas de NyN compuestos por: a) su percepción y comprensión de los tamaños y su escala; b) su comprensión de los procesos ocurridos a escalas pequeñas, y, c) cómo relacionan las propiedades de la materia y las leyes de la física con las escalas pequeñas. La segunda, da cuenta de las percepciones e interés que tienen los alumnos al respecto, y que se compone de: d) su conocimiento de los campos científicos en los que se investiga en nanociencias; e) su percepción del impacto o relevancia de las nanociencias en su entorno, y, f) su interés para que en la escuela se enseñen NyN. En cada una de las partes del análisis se presentan los resultados de ambas muestras y su comparación.

Parte 1. Dificultades para enseñar nanociencias

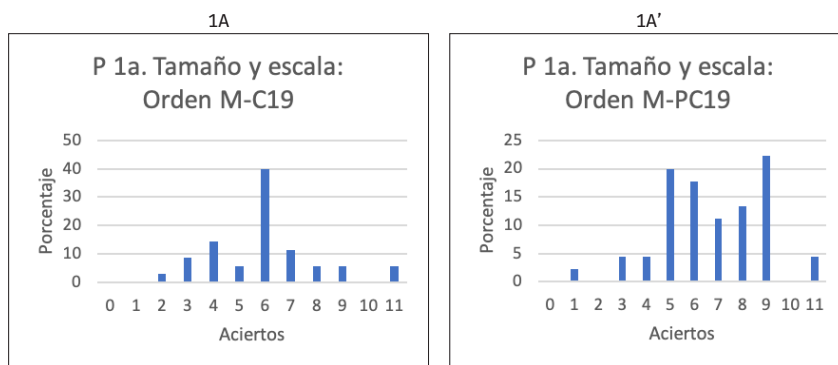
Escalas y procesos

Uno de los primeros aspectos y el que más se ha analizado (Shank *et al.*, 2009; Sánchez-Mora y Tagüena, 2011; Magnana, Brophy y Bryan, 2012) es la comprensión y percepción que tienen los alumnos de los tamaños de las cosas y de las escalas relativas a los tamaños. Esto se aborda en el cuestionario, en las preguntas 1, 2 y 3. La primer pregunta pide ordenar por tamaños una serie de figuras desde un humano hasta un átomo y también, a esas mismas figuras, asignarles su intervalo de escala correspondiente, escala que se encuentra en metros.

Con respecto al ordenamiento por tamaño, la respuesta correcta contempla ordenar 11 figuras de entidades y objetos (1-huevo de gallina, 2-bacteria, 3-glóbulo rojo, 4-doble hélice de DNA, 5-célula de huevo humano, 6-molécula de agua, 7-hormiga, 8-cabello humano, 9-virus, 10-átomo de carbón, 11-niño) por su tamaño, lo cual solo lo logra el 5.7% de la muestra M-C19 y el 4.4% de la M-PC19. En la M-C19, el 40% logra ordenar aproximadamente la mitad de los objetos (niño, huevo, hormiga, cabello, célula, átomo) y el 2.9% solo logra ordenar el humano y el huevo, y, correspondientemente, en la M-PC19 se obtiene el 37% y el 2.2%. En el caso del intervalo nanométrico, los alumnos de ambas muestras presentan más problemas para or-

denar los objetos que en el dibujo (ver anexo, pregunta 1) corresponden a los objetos que tienen asignados el número cuatro (doble hélice) y nueve (virus). Esto está relacionado con otros estudios en el área de la biología, donde los alumnos muestran dificultades para diferenciar los procesos biológicos de lo macro a lo micro y entre lo micro (Mills-Shaw, Van-Horne, Zhang y Boughman, 2008; Duncan, Rogat y Yarder, 2009). Las figuras 1A y 1A' muestran los porcentajes correspondientes al número de aciertos en el ordenamiento de los objetos.

FIGURAS 1A Y 1A'. Las figuras muestran los porcentajes de aciertos en los cuales los alumnos de cada muestra asignan el orden adecuado a los objetos por su tamaño, en las que el número 11 corresponde al ordenamiento correcto de los once objetos.



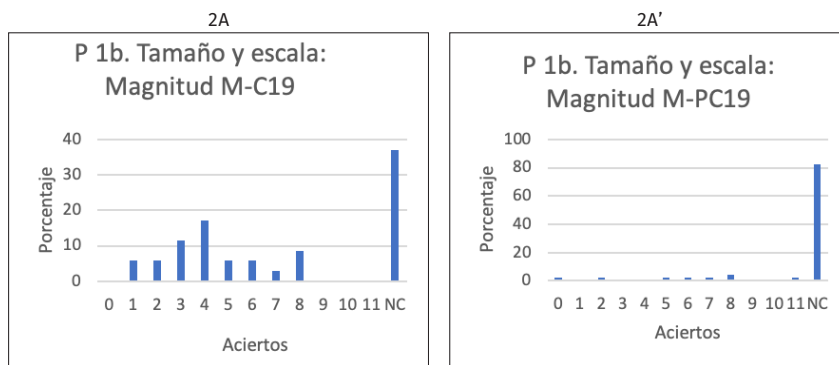
Fuente: Elaboración de los autores.

Como podrá notarse, si bien en cuanto a un ordenamiento correcto, ambas muestras obtienen porcentajes similares (5.7% y 4.4%, respectivamente), la muestra de alumnos postpandemia presenta mayor número de ordenamientos correctos (22.2% y 13.3% para nueve y ocho ordenamientos correctos).

Este reconocimiento de tamaños en las figuras, cambia significativamente en la segunda parte de la pregunta cuando los alumnos tienen que asignar a esos tamaños una escala (expresada en m). Para M-C19 un porcentaje significativo de alumnos 37.1% no asigna ninguna escala a los objetos, cerca del 10% acierta 8 objetos con su escala, siendo el porcentaje más bajo de 5.7%. Si se atiende a los intervalos, nuevamente el intervalo nano-micro es el de menor frecuencia con solo dos alumnos que asignan correctamente el tamaño del objeto con su escala. Por su parte, para M-PC19 82.2% no asigna ninguna escala, 4.4% acierta 8 objetos y solo 2.2% (un alumno) ordena adecuadamente los 11 objetos. Aquí, los resultados parecen invertirse, pues en la muestra M-PC19 son muchos más los alumnos que no contestan y prácticamente no hay alumnos que logren hacer corresponder los objetos con sus escalas.

Las diferencias de ambas muestras con los resultados de la primer pregunta están asociadas con dos factores; por un lado que han tenido mayor exposición escolar a representaciones gráficas de los elementos de esa pregunta —por ejemplo en las figuras de los libros de texto— y, por otro, al deficiente manejo que usualmente tienen los alumnos de las potencias de diez, aspecto que deberá reforzarse en cualquier proyecto para enseñar la ciencia en escalas nanométricas o menores (figuras 2A y 2A’).

FIGURAS 2A Y 2A’. Las figuras muestran los porcentajes de aciertos en los cuales los alumnos de cada muestra asignan el orden adecuado a los objetos por su tamaño, en las que el número 11 corresponde a el ordenamiento correcto de los once objetos.



Fuente: Elaboración de los autores.

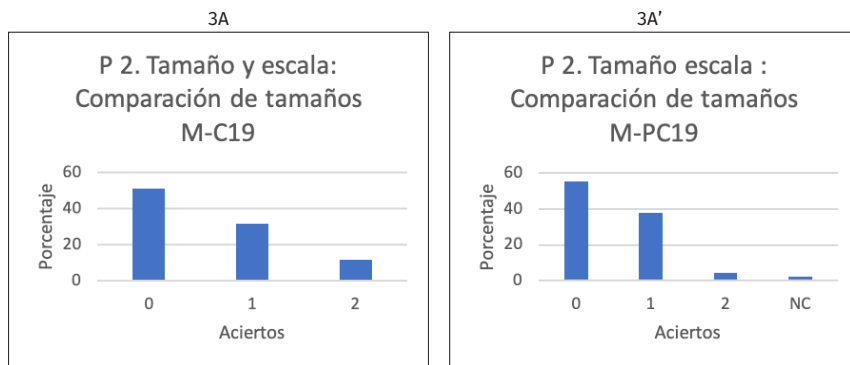
Cabe aclarar que para determinar si los alumnos respondían de forma correcta a las escalas, se tomaron como referencia los siguientes tamaños de los objetos: átomo de carbón, aprox. 0.2 nm (átomos entre 0.1–0.4 nm); molécula de agua, de 0.3-0.45 nm; ADN, aprox. 2 nm; virus, aprox. 100 nm; bacterias (procariontes), entre 1-15 micras; glóbulo rojo, aprox. 5 micras; óvulo, entre 0.1–0.14 mm; diámetro de cabello humano, aprox. 0.1 mm; hormiga, entre 0.5 y 1.0 cm; huevo de gallina, entre 6 y 8 cm, y niño, aprox. 1 m.

La dificultad que presentan los alumnos para reconocer las escalas de forma numérica, se corrobora en la pregunta 2, en la que se solicita determinen el tamaño relativo entre dos objetos¹ (cuántas veces es mayor uno que otro). Como podrá notarse de la figura 3, un poco más de la mitad de los

¹ Considerando que el tamaño de cada objeto puede ser diverso según la especie de que se trate (hormiga o bacteria) o etapa del crecimiento del ser vivo con que se compara (niño o bacteria), para determinar la respuesta correcta se ha definido un intervalo en donde puede estar la proporcionalidad solicitada. Para la proporción entre el niño y la hormiga se ha considerado un niño de 1 m de altura y una hormiga entre medio y un centímetro, lo que da una proporción entre 200 y 100. Respecto a la proporción entre el glóbulo rojo y la bacteria, se considera un glóbulo rojo de 5 micras y la bacteria de 1 a 15 micras, lo que da que el glóbulo rojo puede ser desde 5 veces mayor a 0.3 de la bacteria.

alumnos (51.4% y 55.5%, correspondientemente) no responde correctamente ninguna de las dos comparaciones, descendiendo al 31.4% (M-C19) y 37.7% (M-PC19) para una respuesta correcta y a un porcentaje alrededor del 10% para ambas comparaciones correctas, siendo un poco mayor para la primera muestra que para la segunda.

FIGURAS 3A Y 3A'. Porcentaje de aciertos en la asignación de tamaños relativos entre objetos.



Fuente: Elaboración de los autores.

Estos resultados, desde luego no sorprenden como ya ha sido descrito. Sin embargo, sí enfatizan que los alumnos de ambas muestras no pueden ubicar las escalas y asignarlas a los tamaños de las cosas. Desde luego, esto constituye uno de los retos que todo intento de enseñar aspectos de nanociencias en las escuelas tiene que tomarse en cuenta. Si consideramos que cuando nos referimos a entidades pequeñas, todos los sujetos, incluidos quienes trabajan en el campo de NyN, construyen visualizaciones imaginadas de entidades físicas (ej. moléculas o conglomerados de moléculas) a escala humana perceptible para representarlos y generar ideas y acciones posibles con esas representaciones, resulta relevante que esas visualizaciones imaginadas puedan ser ubicadas en su escala correspondiente y tener así, una clara conceptualización de que una entidad a escala nanométrica es mucho más pequeña que, por ejemplo, una célula y más grande que un átomo. De la misma manera, es conveniente tener claro que entidades físicas en el rango de la nanoescala, puede tener distintos tamaños. Por ejemplo, una entidad puede ser centenares de veces mayor que otras y, sin embargo, seguir perteneciendo al dominio de las NyN. Si aspectos como estos no logran clarificarse en los alumnos, su único referente de los objetos es que son muy pequeños, sin que puedan ubicarlos entre las distintas entidades pequeñas.

Si bien es relevante conocer sobre las dificultades que presentan los alumnos en relación con el tamaño de los objetos, es necesario también conocer cómo ubican y en qué escala ocurren diversos procesos físicos, qui-

micos y biológicos. Esto permitiría tener un panorama más completo del reto sobre la visualización de escala que los alumnos tienen para abordar temas de nanociencia. Para ello, las preguntas tres y cuatro nos proporcionan ese panorama.

En la pregunta tres del cuestionario se intenta averiguar si los alumnos pueden identificar la escala a la que ocurre la emisión de luz en un led, la división celular y la evaporación del agua. Para la evaluación de sus respuestas se tomó en cuenta que el orden de magnitud al que ocurren estos fenómenos corresponde a la dimensión del objeto donde ocurren y, en lugar de considerar una respuesta exacta, se plantea la posibilidad de que el alumno exprese el valor de uno o dos órdenes de magnitud próximos al nivel del objeto donde ocurre el fenómeno.²

La cuarta pregunta pretende conocer las posibilidades de los alumnos de, a partir de un proceso observado en la escala humana como, por ejemplo, la fricción, establecer hasta qué entidades pequeñas ese proceso puede ser analizado. Así, en esta pregunta (la 4a) se pide a los alumnos describir hasta qué tamaño se debe considerar, para tener una explicación lo más completa posible sobre la fricción y, en su caso, que describan a qué escala ocurriría esa explicación (pregunta 4b).

Como pregunta abierta, en esta cuarta pregunta hay la posibilidad de que los alumnos expresen su respuesta de múltiples formas, recurriendo a diversos modelos físicos. Para valorarlas, se establecieron cuatro categorías de acuerdo con el tipo de modelo y nivel de referencia a las dimensiones requeridas para la explicación a la que hagan alusión. Las categorías son: (1) hay fricción entre las partes de cualquier tamaño; (2) la fricción ocurre por la interacción entre gránulos o rugosidades de las superficies en contacto; (3) la fricción ocurre por la interacción electromagnética entre moléculas, átomos de las superficies en contacto; (0) cualquier otra explicación fuera de las tres categorías previas.

Ejemplos de lo que responden los alumnos:

4a. —*El tamaño es invariablemente atómico porque la fricción es el resultado de las vibraciones atómicas de una parte del material que, de manera concomitante, hace vibrar los átomos del otro material. ... Cuando friccionan dos diamantes (nivel macroscópico), una molécula de etano (nivel microscópico) pierde un átomo de hidrógeno y se convierte en un radical etilo que estará ligado a la estructura del*

² En la pregunta sobre la luz de un led, el fenómeno ocurre a nivel atómico o de la red cristalina en un semiconductor, por lo cual se consideró como respuesta correcta el orden de una décima de ángstrom. Sobre la división celular, el tamaño de la célula puede ser desde una micra hasta 100 micras, por lo que se consideraron correctas respuestas dentro de ese orden de magnitud, y, sobre la evaporación del agua que ocurre por la separación de las moléculas de agua de su fase líquida para formar vapor de agua, se consideró que el tamaño de una molécula de agua está entre 3 y 5 ángstroms, tomándose como correctas las respuestas entre 1 y 10 ángstroms (de 0.1 a 1 nanómetros).

diamante. Por lo que las fuerzas atómicas son la principal causa del deslizamiento y no las superficies rugosas.

4b —*La escala está determinada por unidades atómicas. En las reacciones químicas intervienen fuerzas eléctricas, fuerzas de Van der Waals, ... (Estudiante 31, M-C19).*

Como podrá apreciarse, si bien este alumno reconoce que la fricción ocurre dentro de la categoría tres, su explicación está en función de reacciones químicas y, si bien menciona fuerzas eléctricas, muestra confusión entre los procesos que menciona.

4a —*Puede ser a una escala de un ser humano, ya que sería más sencillo explicarlo, como hacer un proceso de rozamiento con las manos o con otros objetos.*

4b —*De 0.1 a 0.01 (centi).* (Estudiante 9, M-PC19).

En este segundo ejemplo, las respuestas se ubican en la categoría dos, que es la más habitual que se dé en las clases de física en el bachillerato, pues la fricción se analiza como fuerzas de contacto, lo que refuerza lo conveniente de que, aún en casos como la enseñanza de la mecánica clásica, los alumnos pudieran tener una representación de las distintas escalas a las que ocurren los procesos físicos.

Las respuestas a las preguntas tres y cuatro muestran, nuevamente, que los alumnos no logran ubicar los procesos con los tamaños de los objetos y su correspondiente escala. En relación con la pregunta tres, se encuentra que, para M-C19, 22.85% de los alumnos (7 alumnos), identifican la escala de emisión de luz (1), 17.5% (cinco alumnos) la de división celular (2) y 5.7% (dos alumnos) la evaporación del agua (3). Por lo que toca al reconocimiento del nivel en el que puede explicarse la fricción, solo el 2.7% (dos alumnos) reconoce el nivel atómico-molecular, 22.85% (siete alumnos) el micrométrico y 2.85% (un alumno) el milimétrico. Para M-PC19, los porcentajes correspondientes son: 24.4% para la emisión de luz, 11.1% para la división celular y 2.2% para la evaporación del agua. En cuanto a la fricción, 2.2% reconoce el nivel atómico-molecular, 4.4% el micrométrico y 6.6% el milimétrico. Es de notar que el porcentaje de alumnos que no respondieron es mucho más alto en este caso (86.8%).

Este resultado de ambas muestras indica que, en un proceso de enseñanza de las NyN, no bastará con atender el problema de las escalas, sino que también habrá que poner atención a las dimensiones en las que ocurren los procesos, hacer comparaciones con los tamaños de los objetos y generar estrategias para abordarlos, como la presentación de imágenes correspondientes como se detallará más adelante.

Estos resultados, como veremos en el siguiente apartado, están estrechamente relacionados con su conceptualización de la materia y su comprensión de la generalización o no de las leyes físicas.

Propiedades de la materia y leyes físicas

Otro de los aspectos analizados para conocer los elementos con los que cuentan los alumnos para interpretar y representarse los temas que abordan las NyN son sus concepciones en torno a las propiedades de la materia y la universalidad de aplicación o validéz de las leyes de la física para el caso de las entidades pequeñas de la materia. Para ello se establecieron tres preguntas en el cuestionario.

En la pregunta cinco, se les presenta a los alumnos una sustancia (oro), en la que se enfatiza sobre algunas de sus características macroscópicas como maleabilidad y el color, y se pide a los alumnos establecer hasta qué escala se conservan estas características. Para valorar las respuestas de los alumnos, se tomó en consideración que el color amarillo y la maleabilidad del oro son propiedades macroscópicas que se pueden apreciar en láminas o polvo, esto es, en escala milimétrica. En cuanto al color, se estimó también que en joyería el denominado baño de oro es una capa de oro de espesor de 2 a 5 micras sobre otro metal base. Incluso el uso de nanopartículas de oro en coloides coloridos sirve para dar tonos dorados, por ejemplo, en la cerámica.

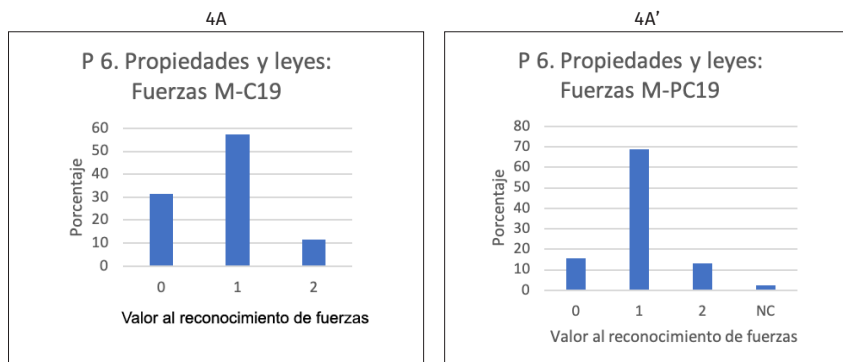
Las escalas sobre las cuales los alumnos podían ubicar sus respuestas fueron: a) miliescala, b) nanoescala, c) microescala, d) escala atómica (picoescala), e) macroescala. Las respuestas se valoraron de acuerdo con lo siguiente: cuando se incluye la opción d les asignó el valor 0; a las respuestas que incluyen todas las escalas excepto d se les asignó el valor 3; el valor 2 corresponde a las respuestas que incluyen hasta tres escalas válidas, y el valor 1 a las que seleccionan solo dos escalas válidas.

De los resultados se tiene que, el 40% (M-C19) y 49% (M-PC19) de los alumnos piensan que las propiedades de color y maleabilidad del oro se cumplen en todas las escalas, incluida la atómica, asignando así color y maleabilidad a los átomos de oro. Esto es consistente con diversas investigaciones sobre ideas previas en las que los alumnos trasladan las propiedades macroscópicas de las sustancias hasta los átomos, asignándoles color, dureza, etc. Son pocos los alumnos que logran reconocer todas las escalas válidas (8.6% y 5%) y buena parte de ellos (31.4% y 46%) aunque logra excluir la escala atómica, al parecer, de manera aleatoria, identifica tres escalas válidas pues seleccionan tres o dos de esas escalas de manera inconsistente.

Otro aspecto relevante es conocer las fuerzas fundamentales que los alumnos identifican que se aplican al nivel de la nanoescala. Para ello, se elaboró la sexta pregunta. En ella se indica a los alumnos que determinen si las fuerzas gravitacional, magnética, eléctrica y nuclear ocurren en los procesos a nivel nanoescala. Los alumnos pueden indicar si todas o algunas de esas fuerzas se aplican en ese nivel, por lo que sus respuestas se clasifican y valoran de acuerdo con los conjuntos de selecciones que llevan a cabo. Así, a los casos en los que incluyen las fuerzas nucleares y gravitacionales se les asigna el valor 0, aquí cabe aclarar que si bien la fuerza gravitacional está presente en escala nanométrica, es extremadamente pequeña, por lo tanto no es signifi-

cativa en los procesos a esa escala y, desde luego, las fuerzas nucleares tampoco son relevantes. Al nivel nanométrico, la interacción se da principalmente entre las moléculas por las fuerzas eléctricas y magnéticas o de estas moléculas con la radiación electromagnética, por ello, se les asignó el valor 2 a las respuestas que incluyen las fuerzas eléctrica y magnética y el valor de 1 a los que incluyen estas dos fuerzas pero introducen la gravitacional o la nuclear. Como se aprecia en la gráfica de las figuras 4A y 4A', solo el 11.4% y 13.3% de los alumnos, correspondientes a cada muestra, reconoce que únicamente aplican las fuerzas eléctrica y magnética, mientras que en los demás casos incluyen a la fuerza gravitacional, la nuclear o ambas. Este resultado, puede estar asociado con los mismos procesos de enseñanza como se ha señalado, donde es común, como lo muestran diversos libros de texto, que cuando se explican esas fuerzas, sobre todo las de nivel macroscópico, no se hace énfasis en las condiciones de validez de las fuerzas fundamentales.

FIGURAS 4A Y 4A'. Porcentajes de respuesta de acuerdo con el valor de reconocimiento de fuerzas: 0 si incluyen las fuerzas gravitacional y nuclear; 1 si incluye la fuerza gravitacional o la nuclear; 2 si solo incluyen fuerzas eléctrica y magnética.



Fuente: Elaboración de los autores.

Como complemento a la pregunta seis, la pregunta siete pretende determinar si los alumnos pueden distinguir que no todas las leyes de la física son aplicables a todas las escalas. Para ello, se pide que respondan sí o no a la afirmación de que las leyes de la física se aplican en todos los casos desde las galaxias hasta los átomos y que justifiquen su respuesta. En este caso en M-C19, el 57% de los alumnos responde que sí hay diferencia y 37% que no. Para M-PC19 los datos son semejantes 51% responden que sí hay diferencias y 42.2% que no. Esto está estrechamente relacionado con su ambigüedad para determinar las fuerzas que se aplican en la nanoescala pues, nuevamente, pone de relieve que no hay una clara distinción entre el tamaño de la materia y sus interacciones, sean estas expresadas como fuerzas o como leyes.

En cuanto a sus argumentos, como podrá notarse de los siguientes ejemplos de respuestas, son poco explícitos y se limitan a remarcar su selección de sí o no.

Las leyes de la física no se aplican por igual a todos los objetos.

- *A mi consideración no es así, debido a que depende el tamaño de ciertas cosas, depende de sus propiedades o bien de sus elementos, y esto no se puede aplicar por igual, se tiene que tener esa consideración, es como si se dijera que la casa de una persona con enanismo será igual a la casa de una persona con acromegalia, evidentemente no, ya que las dos cuentan con necesidades diferentes, al igual que con otras cosas.* (Estudiante 7, M-C19)

Las leyes de la física se aplican por igual a todos los objetos.

- *Las leyes de la física aplican para nivel macroscópico cómo nanoscópico ya que para que se vuelvan una ley tienen que pasar por experimentos que las comprueben en ambos niveles.* (Estudiante 14, M-PC19)

Los resultados obtenidos a los cuestionamientos sobre estructura de la materia y aplicabilidad de las leyes físicas ponen de manifiesto que los alumnos presentan dificultades de comprensión de los aspectos básicos de la física y, por lo tanto, que toda propuesta de enseñanza de las NyN requiere de no dar por supuesto que los alumnos tienen una clara concepción de la materia y los fundamentos de la física, así como reconocer las principales ideas previas que tienen para abordarlas en las propuestas.

Como es de notar de las respuestas de los alumnos en esta sección, son semejantes para ambas muestras con dos contextos escolares distintos (a excepción de la identificación de escalas con objetos). Los resultados de ambas muestras presentan un panorama de las dificultades que tienen los alumnos sobre la materia y sus tamaños, sobre los procesos físicos y las escalas a las que estos ocurren, así como a su percepción de las fuerzas y leyes y su aplicabilidad en toda escala. Estos aspectos son importantes de tomar en cuenta pues, de no tener ninguna consideración al respecto, es probable que toda acción educativa o de divulgación, contribuya a esa confusión y, en lugar de hacer notar lo relevante de las nanociencias y que los alumnos dimensionen lo que implica en términos de los procesos y valoren las investigaciones y desarrollos que implican, solo quedará la difusa idea de que las nanociencias tienen que ver con pequeñas partes de la materia.

Parte 2. Las percepciones de los alumnos

Las siguientes preguntas se elaboraron con la finalidad de saber si los alumnos tienen información sobre las relaciones que guardan las nanociencias con las ciencias básicas y diversos campos disciplinarios. También, para saber si conocen algunas de sus aplicaciones y, del interés que tienen por conocer más sobre las NyN. A diferencia de estudios que indican las problemáticas que pre-

sentan los alumnos para la comprensión de los temas de nanociencias como se mostró previamente, en cuanto la percepción, interés y conocimiento general sobre las implicaciones de las NyN, se han llevado a cabo diversos estudios en el ámbito nacional. Algunos de ellos han mostrado las percepciones de estudiantes universitarios sobre la regulación, confianza y uso de las NyN así como sus campos de aplicación (Delgado y Peña, 2011; Mata y Peña, 2012).

Sin embargo, no se tienen estudios sobre el nivel de bachillerato que den cuenta de ese tipo de temas y, sobre todo, de cuál es el interés que tienen los alumnos para que las NyN se introduzcan en la escuela, por lo que esta segunda parte del análisis nos aportará datos sobre esos aspectos.

La pregunta ocho pide a los alumnos establecer con cuáles de las ciencias, física, química y/o biología, las nanociencias están estrechamente relacionadas o forman parte. Para ello se ha considerado que las nanociencias se fundamentan, principalmente, en la física y la química, y puede tener repercusiones en cualquier área de la ciencia y la tecnología, como pueden ser las ingenierías y las ciencias de la vida. La valoración de esta pregunta se determinó por el número de ciencias que indican los alumnos con las cuales se relacionan las NyN, en una escala de tres a uno, con cero cuando no hay respuesta. Los resultados muestran que la mayoría de los alumnos de la muestra M-C19, esto es 65.7% relaciona las tres ciencias (biología, física y química) y el 11.4% dos de ellas, principalmente, física y química, sin embargo, es significativo el número de alumnos que no responde (23%). Por lo que toca a M-PC19, los porcentajes de respuesta son menos orientados hacia las tres ciencias pues el porcentaje que las incluye es 38%, la inclusión de dos de ellas 24% y al igual que en M-C19 eligiendo principalmente física y química y, a diferencia de la primera muestra, en M-PC19, 38% selecciona física como ciencia relacionada con NyN, probablemente influenciados por las clases presenciales de física.

Para ampliar el espectro de posibles relaciones que los alumnos conocen, se cuestiona (pregunta nueve) sobre los campos de relación y aplicación con las que las NyN tiene un vínculo estrecho. La pregunta pide que los alumnos establezcan y expliquen la relación entre las NyN y ocho áreas o campos del conocimiento: 1) medicina, 2) nuevos materiales, 3) partículas elementales, 4) bioquímica, 5) desarrollo de computadoras, 6) sociología, 7) ingeniería espacial y 8) ingeniería mecánica. Desde luego no es una lista que agote todas las aplicaciones e implicaciones de las nanociencias, pero se han considerado algunas de las más conocidas y de las que los profesores han mostrado mayor conocimiento (Sakhnini y Blonder, 2018). En este caso la valoración fue de siete a cero, considerando un óptimo de siete relaciones (excepto sociología). En la figura 5A y 5A', se puede apreciar que son pocos los alumnos (6.1% y 2%) que relacionan las siete áreas significativas y, con porcentajes similares, diversos tipos de relaciones. Como en la pregunta anterior, es significativo el número de alumnos que no responde (más de 40% en ambas muestras).

Como podrá notarse, los alumnos reconocen una relación más estrecha de las NyN con medicina y bioquímica, seguido del desarrollo de nuevos ma-

teriales y computadoras. Las relaciones con las ingenierías son menores y solo un estudiante de la primera muestra y uno de la segunda establecen relación con la sociología. En la pregunta 9 también se solicita la argumentación de los alumnos. Ejemplos de sus respuestas en relación con las áreas de aplicación son:

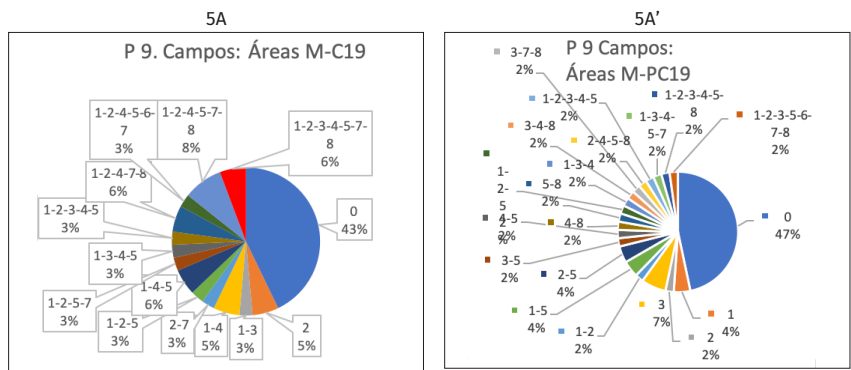
Medicina:

Se relacionan porque la nanotecnología en la medicina permite la creación de órganos artificiales y con este tipo de innovaciones tecnológicas se consigue manipular estructuras y propiedades a nanoescala como manejar células, virus o incluso piezas de ADN. (Estudiante 1, M-C19)

Desarrollo de computadoras:

La biotecnología se aplica a las ciencias de la vida. La nanotecnología se centra generalmente en incrementos o avances computacionales, en un mejor rendimiento electrónico y en la producción y almacenamiento de energía para diversas aplicaciones. (Estudiante 13, M-PC19)

FIGURAS 5A Y 5A'. Porcentajes de alumnos que relacionan de siete hasta un área de conocimiento con las aplicaciones de las nanociencias. El 0 indica que no hay respuesta y los números y secuencia de números indican con qué campo de conocimiento los alumnos relacionan las nanociencias.



Fuente: Elaboración de los autores.

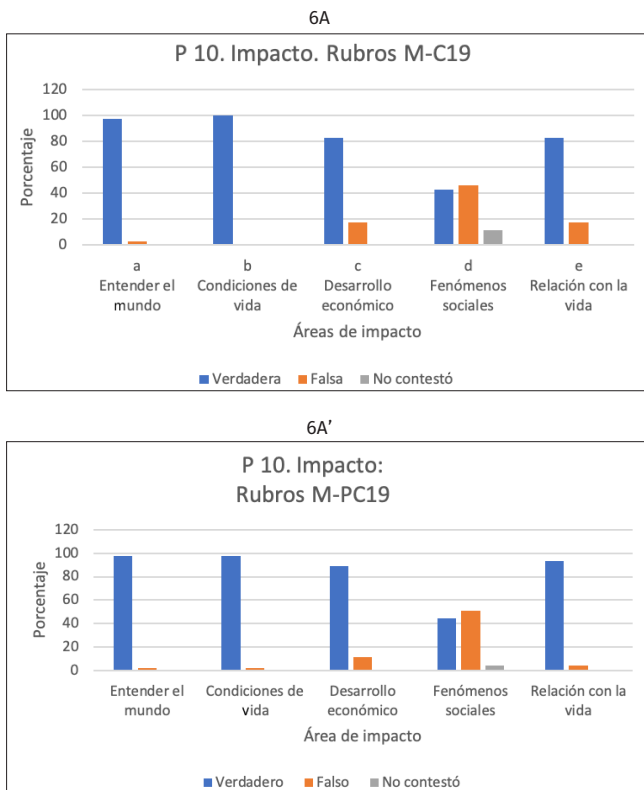
Como podrá notarse, si bien los resultados tanto de quienes no responden como de quienes relacionan todos los campos de conocimiento son semejantes en ambas muestras, la dispersión de respuestas en la muestra pospandemia es mayor, indicando, posiblemente una selección más aleatoria.

¿Qué implicaciones conocen los alumnos que han tenido las nanociencias y la nanotecnología? Esta pregunta se abordó en el ítem 10 del cuestionario. La pregunta tiene cinco oraciones que los alumnos deben clasificar como falso o verdadero y argumentar su elección. Las oraciones son: a) las nanociencias nos ayudan a entender mejor nuestro mundo; b) la nanotecnología mejora

nuestras condiciones de vida; c) la nanotecnología promueve el desarrollo económico; d) la nanotecnología puede utilizarse para analizar fenómenos sociales, y, e) la nanotecnología está fuertemente relacionada con nuestra vida diaria.

Las gráficas de la figuras 6A y 6A', dan cuenta de cómo es la relación falso-verdadero para cada una de las opciones. Se aprecia que, en ambas muestras, en las oraciones a), b), c), y, e), la mayoría de los alumnos las consideran verdadera, mientras que para la oración d) no hay tendencia clara. Como en los casos precedentes, la argumentación de los alumnos es precaria, la mayoría se limitan a reafirmar su selección.

FIGURAS 6A Y 6A'. Porcentaje de respuestas falso-verdadero para las cinco opciones de la pregunta 10.



Fuente: Elaboración de los autores.

Considerando las justificaciones expresadas en las preguntas 9 y 10, se puede afirmar, en general, que la visión de los estudiantes de las NyN, está en el desarrollo de nuevos materiales y dispositivos que pueden tener aplicación, impacto y relación con diversas áreas; principalmente en medicina, ciencias de

la vida y en el desarrollo de dispositivos tecnológicos. Los resultados de ambas preguntas nos indican que los alumnos son conscientes de que las NyN son relevantes para el desarrollo científico y tecnológico.

¿Quiéren los alumnos conocer de nanociencias en la escuela?, ¿bajo qué modalidad prefieren que se enseñe nanociencias en el bachillerato? Para conocer sus ideas sobre esas preguntas se cuestionó a los alumnos (ítem 11) si, en caso de incorporar el tema de las nanociencias cuál sería su preferencia. Se propusieron para ello ocho opciones:

- a) Debería integrarse el tema de nanociencias y nanotecnología en el currículum. ()
- b) Hacer experimentos sencillos para aprender los principios de las nanociencias y la nanotecnología. ()
- c) Desarrollar actividades en mi escuela para promover las nanociencias y nanotecnología. ()
- d) Proporcionar diversas lecturas sobre nanociencias y nanotecnología. ()
- e) No incorporar este tema de ninguna forma en la escuela. ()
- f) Solamente dar pláticas o conferencias sobre las nanociencias y nanotecnología. ()
- g) Enseñarán las aplicaciones prácticas de las nanociencias y nanotecnología. ()
- h) Enseñar estos temas solamente en la universidad. ()

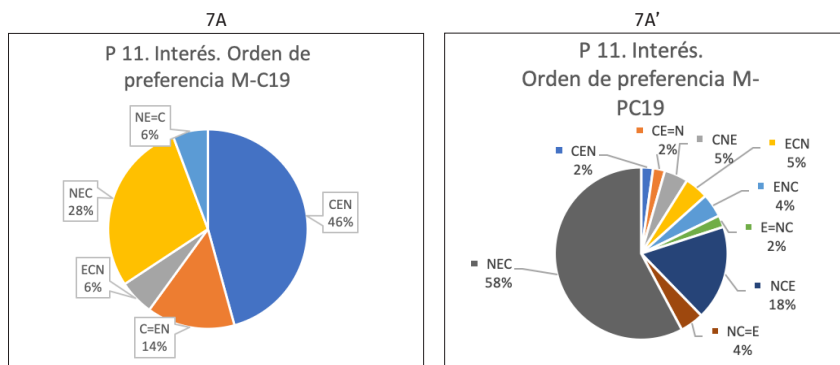
Estas opciones se clasificaron para su análisis en tres categorías: *curricular* (C). Son las opciones que, de alguna manera, implican la incorporación de los temas de NyN en los planes y programas de estudio. Este grupo lo integran las opciones a, b, d y g; *escolar* (E). Son las opciones que aceptan la difusión o divulgación de los temas de las NyN en actividades extracurriculares dentro de los planteles escolares. Este grupo lo integran las opciones c y f; *no escolar* (N). Las acciones elegidas están fuera del ámbito escolar del bachillerato o bien no tienen ningún interés para los alumnos, lo que se corresponde con las opciones e y h. Para asignar valor a sus respuestas y cómo cada alumno hace una selección de posibilidades en orden de preferencia, se determinaron los patrones de respuesta según el promedio de preferencia, es decir, un patrón puede ser CEN indicando que el mayor promedio está en la selección de la categoría C, después la categoría E y, finalmente, el menor promedio para la categoría N. En caso de igualdad de promedios por categoría, esto señala en la cadena con un signo de igual. Por ejemplo, el patrón C = EN, indica que los alumnos tienen la misma preferencia por la categoría curricular que por la escolar. Los patrones encontrados fueron CEN, C = EN, ECN, NEC, NE = C.

En las figuras 7A y 7A' se muestran los porcentajes para cada cadena o patrón de respuesta. Como puede apreciarse, este es otro caso con resultados diferentes en cada muestra. Mientras que para M-C19 un porcentaje significativo de alumnos (46%) muestran interés en que las NyN se incorporen al

currículo y a las actividades escolares y, prácticamente, no consideran que no deben ser enseñadas en el bachillerato (CEN), en M-PC19 el resultado es opuesto, 58% no muestra interés en que se incorporen al currículo ni a las actividades escolares (NEC). Para M-C19, 28% de los alumnos prefieren, en primer lugar, que no se enseñe en el bachillerato, seguido de que se enseñen sin incorporar al currículum y muy pocos los que sí prefieren su incorporación curricular (NEC) y, para M-PC19, es muy bajo el porcentaje que tiene interés porque las NyN se incorporen al currículo escolar (2% para CEN) y prevalece la negativa a incorporarlo al currículo con 18% para NCE, que combinado con NEC, da como resultado que la mayoría de los alumnos de esta muestra (76%) no tiene interés en la incorporación curricular y escolar de las NyN. Los demás patrones de ambas muestras dan indicios de no tener una preferencia clara.

Estos resultados muestran que, a pesar de reconocer la relevancia de las NyN para la forma actual de vida y los beneficios tecnológicos que puede traer, no manifiestan gran entusiasmo en una muestra y prácticamente nulo en la otra, para que este tema forme parte del programa curricular sino, en todo caso, como actividades que pueden llevarse en la escuela y fuera de ella pero complementarias como las de divulgación.

FIGURAS 7A Y 7A'. Las gráficas muestran el nivel de interés por incluir las NyN en el currículum, esto es, como temas obligatorios y con actividades escolares así como la falta de interés por su incorporación en la escuela.



Fuente: Elaboración de los autores.

Como podrá notarse, la mayoría de los datos son semejantes en ambas muestras, dando cuenta de los mismos problemas y dificultades para comprender las escalas y asociarlas con objetos y procesos, así como las relaciones entre propiedades de la materia y leyes físicas a escala nanométrica. También, son semejantes sus percepciones sobre los temas y áreas que tienen relación con las NyN.

Los dos resultados que muestran diferencia significativa son la identificación de esclas para el tamaño de los objetos y el interés que muestran para que

este campo de la ciencia y la tecnología se incorpore de manera curricular y escolar. Dado el tamaño de las muestras y el carácter exploratorio del presente estudio, no es posible establecer alguna hipótesis explicatoria fundamentada. Sin embargo, sí indica aspectos en los que es necesario profundizar, especialmente en la falta de interés mucho mayor en la muestra que ya ha estado presencialmente en la escuela, de la que estuvo a distancia durante la pandemia, puesto que inicialmente podría haberse pensado que los alumnos en la escuela presentarían mayor interés.

Consideraciones finales

Sin duda las NyN son temas importantes en la formación de los jóvenes y cada vez lo serán más y, probablemente en el futuro, formarán parte de los currículos de ciencias como lo ha sido la estructura de la materia y las energías renovables. Así, es relevante que se lleven a cabo esfuerzos para ir encontrando mejores formas educativas de hacerlo. Para ello, es necesario conocer los problemas a los que esos esfuerzos se enfrentarán y que, como se muestra en este breve estudio, van desde los problemas de reconocimiento y comprensión de procesos y objetos a escalas pequeñas hasta el escaso interés de los alumnos para que este tema sea incorporado a su ámbito escolar. Aspectos todos ellos que no pueden pasarse por alto en el diseño y desarrollo de proyectos que pretendan llevar las NyN a las escuelas, sea del bachillerato o de otros niveles escolares.

En el desarrollo de proyectos de incorporación de las NyN en las escuelas de una forma que tome en cuenta las problemáticas que este tema implica en cuanto a comprensión de las entidades pequeñas en los procesos físicos, químicos y biológicos, es importante tomar en cuenta enfoques educativos recientes como el de transformación representacional apoyados con el uso de múltiples representaciones externas (Pozo y Flores, 2007; Prain y Tytler, 2012; Flores-Camacho, García-Rivera, Gallegos-Cázares y Calderón-Canales, 2020). Este enfoque educativo implica reconocer que, más allá de los conceptos, los alumnos construyen representaciones que implican la contextualización de los conocimientos específicos y procesos de interpretación, que les permiten hacer inferencias sobre los fenómenos naturales.

El desarrollo de propuestas educativas con este enfoque implica que, todo proceso que se implemente debe contemplar que cada temática, como la de que los alumnos puedan diferenciar qué leyes físicas son aplicables en las escalas pequeñas, cuente con diversas formas de representación. Esto es, establecer formas narrativas (directas o con analogías), situaciones experimentales, gráficas, esquemas y dibujos entre otros, de manera que el alumno tenga elementos para, a su vez, elaborar sus propias representaciones con los mayores elementos interpretativos posibles, pues como se ha mostrado en la literatura, cada forma de representación tiene características y construcciones, que permiten llevar a cabo inferencias específicas y, por tanto, diversas formas de comprensión de los temas (Rost y Knuuttila, 2022). Como

un ejemplo indicativo del uso de estos resultados para el desarrollo de procesos didácticos, se presenta una breve introducción para abordar el tema de las leyes físicas y su aplicabilidad en distintas escalas. Así, un primer paso es considerar que, cuando se aborde este tema en una propuesta de introducción de las NyN, para cada ley física que se considere en la propuesta, hay que presentar, además de su formulación matemática y su descripción, su ámbito de aplicación, lo cual puede hacerse, en primer lugar, con imágenes, las cuales pueden ser fotografías, videos e incluso dibujos. A partir de estas imágenes es deseable preguntar a los estudiantes sobre los tamaños (escala) de lo que están observando y hacerlos conscientes del rango de aplicabilidad, así como de que ellos expliciten con algunas formas de representación ese reconocimiento. En segundo lugar, proponer llevar a cabo acciones donde se apliquen esas leyes, por ejemplo resolviendo alguna situación matemática, haciendo alguna deducción o explicación que implique la ley, o bien llevando a cabo una actividad práctica donde sea posible, todo lo cual deberá ser acompañado, nuevamente, de la explicitación, por parte del estudiante de su escala de aplicabilidad, ejemplificada no solamente con los valores de la escala misma, sino también de expresiones con diversas formas de representación como esquemas, dibujos o imágenes que lo ejemplifiquen. Con las acciones precedentes (desde luego puede haber otras que los docentes o proponentes del proyecto pueden desarrollar) se espera que los alumnos tengan una representación más completa y contextualizada de las leyes físicas, por lo cual, en principio, podría llevarse a cabo otra acción como el analizar con los alumnos las situaciones donde no se aplican esas leyes y sus causas; esto, de nueva cuenta, deberá hacerse con diversas formas de representación. Es deseable que las propuestas finalicen con un reporte en el cual expliciten la comprensión de tema como si fueran a explicarlo a otras personas.

Desde luego, todo enfoque, como el de transformación representacional aquí propuesto, tiene diversas formas de instrumentarse, y esto dependerá de los elementos con los que cuenten tanto quienes hagan la propuesta como los docentes.

Si bien lo que aquí se presenta tiene la restricción de haber analizado una muestra pequeña en cada caso, sus resultados son coincidentes con otros estudios más amplios desarrollados en diversos países, esto no impide reconocer sus limitaciones y la necesidad de ampliar la muestra y profundizar en varios aspectos, así como incluir otros contextos escolares y obtener con ello un conjunto de conclusiones fortalecidas que orienten futuros desarrollos para incorporar curricularmente las NyN.

Referencias

- Adadan, E., Akaygun, S. y Sanyal, A. (2017). Size-dependent properties of matter: is the size of a pill important? *Science Activities*, 54(3-4): 86-95. <https://doi.org/10.1080/00368121.2017.1395790>.

- Blonder, R. y Mamlok-Naaman, R. (2016). Learning about teaching the extracurricular topic of nanotechnology as a vehicle for achieving a sustainable change in science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14: 345-372. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9579-0>.
- De Guzma, E. y Sanjay, N. (2019). Refining student's explanations of an unfamiliar physical phenomenon-microscopic friction. *Research on Science Education*, 49: 1177-1211. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9650-2>.
- Delgado, G. C. y Judith Sarí Peña, J. S. (2011). Análisis de percepción sobre la nanociencia y la nanotecnología: el caso de la comunidad universitaria de la UNAM. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinarias en Nanociencias y Nanotecnología*, 4(1): 85-97. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2011.1.51138>.
- Duncan, R. G., Rogat, A. D. y Yarder, A. (2009). A learning progression for deepening students' understandings of modern genetics across the 5th-10th grades. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6): 655-674. <https://doi.org/10.1002/tea.20312>.
- Flores-Camacho, Fernando, Beatriz Eugenia García-Rivera, Leticia Gallegos-Cázares y Elena Calderón Canales. (2020). *Representaciones y aprendizaje de las ciencias*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Greenberg, A. (2009). Integrating nanoscience into de classroom: perspectives on nanoscience education projects. *ACS Nano*, 3(4): 762-69. <https://doi.org/10.1021/nm900335.r>.
- IRRESISTIBLE Project .(2022). <http://www.irresistible-project.eu>.
- Jackman, J., Cho, D. J., Lee, J., Ming, J., Blesenbacher, F., Bonnell, D. A., Hersam, M. C., Weiss, P. S. y Cho, N. J. (2016). Nanotechnology education for the global world: training the leaders of tomorrow. *ACS Nano*, 10: 5595-5599. <https://doi.org/10.1021/acsnano.6b03872>.
- Lan, Y. L. (2012). Development of an attitude scale to asses K-12 teachers' attitudes toward nanotechnology. *International Journal of Science Education*, 34(8): 1189-1210. <https://dx.doi.org/10.1080/09500693.2011.651657>.
- Magana, A. J., Brophy, S. P. y Bryan, L. A. (2012). An integrated knowledge framework to characterize and scaffold size and scale cognition (FS2C). *International Journal of Science Education*, 34(14): 1281-2203. <https://dx.doi.org/10.1080/09500693.2012.715316>.
- Mata, J. M. y Peña, J. S. (2012). Análisis de la percepción de la nanociencia y nanotecnología: el caso de la comunidad universitaria de UAM, UDLAP e IPN. *Mundo Nano. Revista de Nanociencias y Nanotecnología*, 5(9): 81-96. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2012.9.45238>.
- Meinguer, J. (2019). La comunicación de la nanotecnología del carbono como una herramienta para impulsar el pensamiento crítico en la educación química preuniversitaria. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 12(22): 3-35. <https://dx.doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2019.22.61953>.
- Mills Shaw, K. Van Horne, K., Zhang., H. y Boughman, J. (2008). Essay contest reveals misconceptions of high school students in genetics content. *Genetics*, 178(3): 1157. <https://doi.org/10.1534/genetics.107.084194>.

- Pozo, J. I. y Flores, F. (eds.). (2007). *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*. Madrid: Antonio Machado Libros.
- Prain, V. y Tytler, R. (2012). Learning through constructing representations in science: a framework of representational construction affordances. *International Journal of Science Education*, 34(17): 2751-2773. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.626462>.
- Rodríguez, D. D. y Ávila, A. G. (2011). Experiencias en micro y nano escalas para niños y jóvenes. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 4(2): 121-128. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2011.2.45080>.
- Rost, M. y Knuuttila, T. (2022). Models as epistemic artifacts for scientific reasoning in science education research. *Education Sciences*, 12(276): 1-20. <https://doi.org/10.3390/educsci12040276>.
- Sánchez-Mora, M. y Tagüeña, J. (2011). El manejo de las escalas como obstáculo epistemológico en la divulgación de la nanociencia. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 4(2): 83-102. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2011.2.45011>.
- Sakhnini, S. y Blonder, R. (2016). Nanotechnology applications as a context for teaching the essential concepts of NST. *International Journal of Science Education*, 38(3): 521-538. <https://dx.doi.org/10.1080/09500693.2016.1152518>.
- Sakhnini, S. y Blonder, R. (2018). Insertion points of the essential nanoscale science and technology (NST) concepts in the Israeli middle school science and technology curriculum. *Nanotechnology Review*, 7(5): 373-391. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2018-0026>.
- Shank, P., Wise, A., Stanford, T. y Rosenquist, A. (2009). *Can high school students learn nanoscience? An evaluation of the viability and impact of the nanoscience curriculum*. SRI International.
- Sgouros, G. y Stavrou, D. (2019). Teachers' professional development in nanoscience and nanotechnology in the context of a community learners. *International Journal of Science Education*, 41(15): 2070-2093. <https://dx.doi.org/10.1080/09500693.2019.1659521>.

ANEXO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 ESCUELA NACIONAL COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
 PLANTEL SUR
 PROYECTO NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA EN EL BACHILLERATO
 PAPIME PE103420












El presente cuestionario tiene por propósito saber qué es lo que un estudiante del Bachillerato opina sobre la nanociencia y la nanotecnología en un contexto general, no cuánto sabe sino qué información tiene respecto a estos conceptos con el fin de estructurar actividades para poder atender estas inquietudes dentro de sus clases normales en el nivel referido. No es con el fin de evaluación del curso sino por la investigación educativa.

Nombre: _____ Grupo: _____

Por favor responda en función de lo que usted tiene entendido sobre estos conceptos:

I Tamaño y escala.

- Ordene los objetos de acuerdo con su tamaño. Ponga el número correspondiente en la casilla. (Note que los objetos no están a escala real).

										
Huevo de gallina	Bacteria	Célula de glóbulo rojo	Doble hélice de DNA	Célula de huevo humano	Molécula de agua	Hormiga	Cabello humano (diámetro)	Virus	Átomo de carbón	Niño
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Del más pequeño

Al más grande

Fuente: Tomado de Magnana et al. (2012).

Coloque en los espacios correspondientes a diversas escalas los objetos que corresponden por su tamaño a cada escala. Coloca el número correspondiente del objeto en cada escala.

Objetos	Escala en metros
Huevo de gallina (1)	10 — 1.0
Bacterias (2)	
Diámetro de un glóbulo rojo (3)	1.0 — 0.1 (deci)
Diámetro de la doble hélice del DNA (4)	
Célula del huevo humano (5)	0.1 — 0.01 (centi)
Molécula de agua (6)	
Hormiga (7)	0.01 — 0.001 (mili)
Diámetro del cabello humano (8)	
Virus (9)	0.001 — 0.000001 (micro)
Átomo de carbón (10)	
Altura de un niño (11)	0.000001 — 0.000000001 (nano)
	0.000000001 — 0.000000000001 pico (escala atómica)

2. Aproximadamente: a) ¿cuántas veces es mayor la altura de un niño que la longitud de una hormiga? _____ ; b) ¿cuántas veces es mayor el diámetro de un glóbulo rojo que la longitud de una bacteria? _____ .

II Procesos que ocurren en las escalas pequeñas.

3. ¿A qué escala piensas que ocurren los siguientes procesos?: a) emisión de luz de un led _____ ; b) división de una célula _____ ; c) evaporación del agua _____ .
4. La fricción entre dos superficies es un proceso que has observado diariamente. Explicarlo implica considerar las fuerzas entre superficies grandes como las suelas de nuestros zapatos con el piso, hasta en las

partes muy pequeñas de la materia de las superficies entre las que ocurre.

- a) ¿Hasta qué tamaño crees que se deba llegar para tener una explicación más completa de la fricción entre materiales? Elabora una explicación de tus ideas:

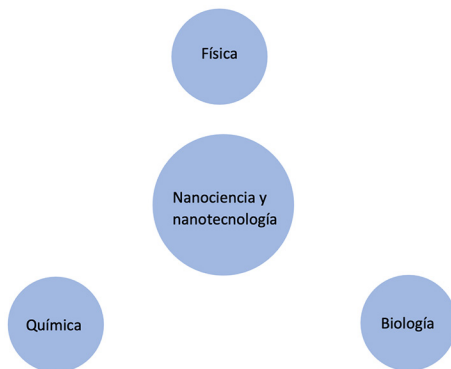
- b) ¿En qué escala crees que se ubican las partes más pequeñas que permitirían la explicación que has elaborado? Proporciona el nombre de la escala o escribe aproximadamente en potencias de 10 o con decimales de la escala aproximada que has pensado resuelve la pregunta.

III Propiedades de la materia y leyes y relaciones que se aplican en las escalas pequeñas.

5. Entre las propiedades del oro se encuentran su color y su maleabilidad. ¿En cuáles de las siguientes escalas piensas que esas propiedades se conservan? Puedes seleccionar más de una.
a) Miliescala, b) nanoescala, c) microescala, d) escala atómica (picoescala), e) macroescala.
6. ¿Cuáles de las siguientes fuerzas crees que se apliquen al nivel de la nanoescala?:
a) fuerza gravitacional, b) fuerza magnética, c) fuerza eléctrica, d) fuerzas nucleares.
7. Muchas personas piensan que las leyes de la física se deben aplicar por igual a toda la materia no importando su tamaño, esto es, al nivel de las galaxias o al nivel de los átomos. ¿Cuál es tu opinión? ¿Cómo la justificas?

IV Las nanociencias y la nanotecnología y los campos en los que se investigan.

8. ¿Con cuál de las siguientes ciencias básicas se relacionan la nanociencia y la nanotecnología? Traza una línea con la o las que se relacionan.



9. De la siguiente lista, selecciona aquellas que consideras tienen una estrecha relación con las nanociencias y nanotecnología. Justifica la selección que hiciste.

Medicina
Análisis y desarrollo de nuevos materiales
Estudio de partículas elementales
Bioquímica
Desarrollo de computadoras
Sociología
Ingeniería espacial
Ingeniería mecánica

V Impacto de la nanociencia y la nanotecnología.

10. Explica la razón que hay para afirmar que las siguientes oraciones son verdaderas o falsas:

a) Las nanociencias nos ayudan a entender mejor nuestro mundo.

b) La nanotecnología mejora nuestras condiciones de vida.

c) La nanotecnología promueve el desarrollo económico.

d) La nanotecnología puede utilizarse para analizar fenómenos sociales.

e) La nanotecnología está fuertemente relacionada con nuestra vida diaria.

VI Interés por las nanociencias y la nanotecnología.

11. En tu plantel hay profesores de ciencias interesados en incorporar el tema de las nanociencias y la nanotecnología. Numera del 1 al 10 por orden de preferencia las siguientes acciones:

- a) Debería integrarse el tema de las nanociencias y la nanotecnología en el currículum. ()
- b) Hacer experimentos sencillos para aprender los principios de las nanociencias y la nanotecnología. ()

- c) Desarrollar actividades en mi escuela para promover las nanociencias y la nanotecnología. ()
- d) Proporcionar diversas lecturas sobre las nanociencias y la nanotecnología. ()
- e) No incorporar este tema de ninguna forma en la escuela. ()
- f) Solamente dar pláticas o conferencias sobre las nanociencias y la nanotecnología. ()
- g) Enseñar las aplicaciones prácticas de las nanociencias y la nanotecnología. ()
- h) Enseñarlas solamente en la universidad. ()