

**NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA EN LA  
EDUCACIÓN ACTUAL: UNA PROPUESTA  
INTERDISCIPLINARIA EMERGENTE POSCOVID-19**

**NANOSCIENCE & NANOTECHNOLOGY IN CURRENT  
EDUCATION: AN EMERGING INTERDISCIPLINARY  
PROPOSAL POST-COVID-19**

**Noe B. Pampa-Quispe<sup>1, 2</sup>, Julissa Torres-Acurio<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería de Procesos Industriales, Universidad Nacional de Juliaca, Perú.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Barranca, Perú.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Humanas y Educación, Universidad Peruana Unión, Perú.

(Recibido: 04/2022. Aceptado: 08/2022)

**Resumen**

Estudios recientes mencionan que la nanociencia & nanotecnología formarán parte de las tecnologías emergentes que se fortalecerán en este siglo XXI por su enorme potencial de enseñanza, innovación tecnológica e investigación científica. El objetivo del presente trabajo es proponer la importancia de la nanociencia y nanotecnología como ciencia interdisciplinaria emergente pos-COVID-19 en la educación actual. Se recopiló información científica de diferentes bases de datos sobre la nanociencia y nanotecnología y su contribución en la educación antes y durante la pandemia. Así mismo, se enfatizó en la enseñanza de la nanociencia y nanotecnología como interdisciplina y en cómo, con sus aplicaciones tecnológicas multidisciplinarias, se implementaría un nuevo paradigma en la enseñanza del conocimiento científico y la innovación tecnológica, que ha sido ampliamente empleada para enfrentar el COVID-19. De esta manera, su enseñanza generaría habilidades científicas en los estudiantes para discernir múltiples posibilidades de discusión sobre el papel de la educación actual, convirtiéndose en un portal

para aprender, comprender y vincular la nanotecnología. La nanociencia y la nanotecnología ha sido ampliamente empleada para enfrentar el COVID-19 y surge así un debate más amplio sobre la necesidad de implementar métodos diversos en la enseñanza, asegurando el aprendizaje del estudiante y el desarrollo de contenido educativo que proporcionaría un contexto apropiado de investigación e innovación y aplicación en la educación. A manera de conclusión, se hace un llamado a las instituciones para implementar la enseñanza de la nanociencia y nanotecnología en la educación básica, fundamental y superior, como generadores de nuevas habilidades científicas en los estudiantes y la mejora en la formación del docente, debido a el papel que tomará en la etapa del pos-COVID-19.

**Palabras clave:** nanotecnología, educación, interdisciplinaria, emergente, pos-COVID-19.

### **Abstract**

Recent studies mention that nanoscience & nanotechnology will be part of the emerging technologies that will be strengthened in this 21st century due to their enormous potential to be used for education purposes, technological innovation, and scientific research. The objective of the present work is to propose the importance of nanoscience and nanotechnology as an emerging interdisciplinary science post-covid-19 in current education. Scientific information was collected from different databases on nanoscience and nanotechnology and their contribution to education before and during the pandemic. Likewise, emphasis was placed on the teaching of nanoscience and nanotechnology as an interdiscipline and how, with its multidisciplinary technological applications, a new paradigm would be implemented in the teaching of scientific knowledge and technological innovation, which has been widely used to face COVID-19. In this way, its teaching would generate scientific skills in students to discern multiple possibilities for discussion on the role of current education, becoming a portal to learn, understand and link

nanotechnology. Nanoscience and nanotechnology have been widely employed to address COVID-19. Thus, a broader discussion arises on the need to implement diverse methods in teaching, ensuring student learning and the development of educational content that would provide an appropriate context for research, innovation, and application in education. In conclusion, a call is made to institutions to implement the teaching of nanoscience and nanotechnology in basic, and higher education, as generators of new scientific skills in students and improvement in teacher training, due to the role it will take in the post-COVID-19 stage.

**Keywords:** nanotechnology, education, interdisciplinary, emerging, post-COVID-19.

## Introducción

En la ciudad de Wuhan en China, en diciembre de 2019, fue identificada la primera infección causada por el nuevo coronavirus, denominado SARS-CoV-2. Desde entonces, a principios de 2020, los casos comenzaron a incrementar y se inició una transmisión rápida del virus en todo el mundo [1, 2]. El 11 de marzo del 2021, la Organización Mundial de la Salud clasificó la epidemia del COVID-19 como pandemia [3], con el fin de contener la propagación del virus y la contaminación masiva entre personas. Asimismo, se aplicaron medidas de distanciamiento sociales en todo el mundo [2, 4].

El virus SARS-CoV-2 provoca la enfermedad denominada COVID-19, cuyo cuadro clínico varía desde un simple resfriado hasta una neumonía mucho más grave. Perteneció a la familia *coronaviridae* (subfamilia *Orthocoronavirinae*), del género *β*-coronavirus (subgénero *Sarbecovirus*) y puede tener un diámetro entre 60 y 140 nm. Se trata de un virus ARN (ácido ribonucleico) con fuerte tendencia a mutar y propagarse, siendo el séptimo coronavirus conocido hasta el momento que infecta a humanos [5, 6].

Ante este escenario, investigadores de todo el mundo se han volcado para combatir a este nuevo enemigo y la nanotecnología ha demostrado ser una herramienta necesaria, desde la producción de diagnósticos rápidos hasta la producción de vacunas. La aplicación de la nanotecnología se ha visto beneficiada en el campo del diagnóstico, en el uso de nanopartículas de oro [2]. También, se estudió la nanotecnología en el campo de la prevención: se utilizaron nanopartículas metálicas en desinfectantes que obtuvieron propiedades antimicrobianas y capacidad de autolimpieza [2, 7] y se utilizaron nanofibras en mascarillas que filtran y capturan partículas nanométricas e infecciosas. El desarrollo de sistemas de administración de antivirales basados en nanotecnología es una estrategia potencial para mejorar la eficacia y seguridad de las terapias actuales, aumentando así su eficacia antiviral y reduciendo su toxicidad [8, 9].

Paralelamente al impacto de la pandemia, los cambios de comportamiento en las prácticas educacionales de las escuelas durante el distanciamiento social fueron significativos, en donde las TIC (tecnologías de la información y la comunicación) asumieron un rol trascendental, las mismas que permitieron facilitar el aprendizaje de los estudiantes e innovar los procesos de enseñanza. En este escenario, los estudiantes requerían de explicaciones científicas ante esta nueva circunstancia originada por la pandemia, cobrando relevancia las prácticas y estrategias que involucran la interdisciplinariedad dentro de las ciencias [5], así como la enseñanza integrada de esta, tanto en primaria como en secundaria. El contenido interdisciplinario se puede correlacionar con temas actuales que abordan cuestiones científicas, tecnológicas y sociales [10]. Partiendo de este supuesto, la nanotecnología es un área del conocimiento que actualmente se destaca en la sociedad contemporánea por sus aportes en los más diversos campos científicos [1], convirtiéndose en un contenido educativo multidisciplinario preponderante en nuestra actual sociedad.

La nanociencia y nanotecnología (N&N) han sido reconocidas como una tecnología emergente y prometedora que se fortalecerá durante el siglo XXI gracias a su enorme potencial de innovación

tecnológica e investigación científica. Esto se debe principalmente al hecho de que la N&N unifica muchas disciplinas, como la física, la química, la biología y la ingeniería y, al mismo tiempo, debido a las propiedades únicas que presenta la materia en la nanoescala, el carácter interdisciplinario y las aplicaciones notables de la N&N han llevado a los investigadores de educación científica a reconocer su potencial en la enseñanza de las ciencias [11].

El prefijo nano del griego *nanos* (pequeñísimo) pasó al latín como *nanus* [12]. Este prefijo se aplica para indicar que son mil millones de veces menores las unidades de distancia, tiempo, etcétera, que la unidad que le precede; por lo que un nanómetro (nm) equivale a unas mil millonésimas de metro ( $10^{-9}$  m). La nanotecnología es un campo de la ciencia aplicada que se ocupa del control de la materia en dimensiones de aproximadamente 1 a 100 nanómetros (nm) [13]. Además, implica manipular y controlar átomos y moléculas individuales para diseñar y crear nuevos materiales, nanomáquinas y nanodispositivos para su aplicación [14]. La N&N ha permitido vislumbrar nuevos entendimientos sobre el mundo natural, especialmente en lo que se refiere a las propiedades de los materiales, con un impacto creciente en la organización de la sociedad a través del desarrollo de nuevas tecnologías emergentes, siendo este un tema que ha sido cada vez más difundido en los medios [15, 16].

En el campo de la educación, específicamente en lo que se refiere a la enseñanza de las ciencias naturales y las matemáticas, los descubrimientos y aplicaciones derivadas del desarrollo de diversos dispositivos han tenido un impacto en los procesos educativos. Por lo tanto, estos hallazgos han impulsado cambios en los documentos de orientación de la educación a nivel nacional. En esta perspectiva, los procesos educativos necesitan incorporar diferentes temas que provienen de los avances científicos, como los conceptos de N&N [17].

Las investigaciones en N&N requieren cambios fundamentales en las prácticas tradicionales de diseño, análisis y fabricación para una amplia gama de productos de ingeniería. Por lo tanto, este impacto

crea un desafío para la comunidad académica, tanto para educar a los estudiantes con los conocimientos necesarios como para mejorar la comprensión y las habilidades para interactuar en el mundo de la nanotecnología [18].

Por situaciones y cambios sociales experimentados por la pandemia COVID-19, se vislumbra que esta tecnología emergente de la N&N se fortalecerá después del COVID-19, aliado a la educación emergente interdisciplinaria. Por ello, el estudio tiene como objetivo proponer la importancia de la N&N en la educación actual como enseñanza interdisciplinaria emergente pos-COVID-19. Para esto, se abordan los conceptos principales, los antecedentes básicos y las aplicaciones tecnológicas y educativas de la N&N, con el fin de contribuir en la ampliación del debate sobre N&N como un tema con potencial para ser abordado en la educación actual pos-COVID-19. Para ejecutar dicha información, en el presente estudio fue empleado el método indirecto de reunir datos preexistentes procedentes de diversas fuentes de publicaciones científicas, libros académicos y similares.

## **Antecedentes y aplicaciones de la nanociencia y nanotecnología**

En 1956, Arthur Von Hippel publicó un artículo titulado «Ingeniería Molecular», donde se discutía la idea de construir materiales a partir de átomos y moléculas por primera vez [19]. En su artículo, Hippel también destacó la importancia de la interdisciplinariedad en el estudio y desarrollo de la ciencia y tecnología de los nanomateriales [20]. En el campo de estudio de la N&N, un nombre a menudo citado es el del físico estadounidense Richard Feynman, aludiendo a una conferencia pronunciada el 29 de diciembre de 1959, promovida por la «American Physical Society» [21], en el que se presentaron nuevas ideas sobre posibles aplicaciones tecnológicas a escala atómica. Por esta razón, a menudo se le considera un precursor de este campo de estudio; sin embargo, los términos N&N solo aparecieron 15 años después de la conferencia de Feynman, en 1974, creada por Norio Taniguchi, de Tokio, para representar la creación de materiales a

escala nanométrica [22], que hace referencia a la idea de principio (*arché*) de todas las cosas.

La nanotecnología es la comprensión y el control de la materia de dimensiones desde aproximadamente 1 a 100 nm, donde los fenómenos originales permiten nuevas aplicaciones. Las propiedades físicas y químicas de los nanomateriales dependen marcadamente de sus tamaños y formas (o morfologías) [23]. Un aspecto importante de los nanomateriales es que cuanto menor es el tamaño de partícula, mayor es el área superficial. En la nanoescala, propiedades como la conductividad eléctrica y la resistencia mecánica no son las mismas que presentan los materiales que contienen partículas con dimensiones muy superiores a los 100 nm, es decir, en forma extendida. Las propiedades electrónicas también cambian drásticamente [24]. Algunos términos y definiciones asociados con la nanotecnología son de nanomaterial, nanoestructura, material nanoestructurado y nanoobjetos [23, 24]

El aumento del área superficial de los nanomateriales es una característica que influye significativamente en las propiedades de estas partículas, haciéndolas mucho más reactivas [25, 26]. En consecuencia, estas estructuras tienen en sus propiedades cambios de temperatura, absorbiendo el calor mucho más rápidamente y, en consecuencia, cambiando sus temperaturas de transición de fase. Además, a medida que aumentamos la superficie de una estructura, también aumentamos su interacción con el entorno. Por lo tanto, las nanopartículas son cada vez más deseables para su aplicación en sensores biológicos y químicos, pueden usarse como detectores de virus, para ayudar en la eliminación de gases tóxicos e incluso, como ayuda en el transporte de medicamentos en el cuerpo [27].

El uso de estas propiedades en aplicaciones tecnológicas forma la base de la nanotecnología que tiene como objetivo el desarrollo de sistemas nanométricos, nanopartículas y nanomateriales funcionales, activas e inteligentes, como los nanocarbons, nanoarcillas y nanocompuestos poliméricos [28], nanocelulosas, nanoemulsión y nanomicrocápsulas de principios bioactivos y nanorobots, nanosensores, nanoemulsión, nanoporos,

nanosistemas, nanodispositivos, nanochips, nanomedicina, etc., a través de la manipulación de la materia a nivel molecular [29]. Entre sus campos multidisciplinarios de aplicación se incluye: medio ambiente, salud pública, agricultura, alimentos, exploración espacial, tecnologías de la comunicación e informática, bioenergías, textil, construcción y arquitectura, industria militar, automovilística, naves espaciales, seguridad personal y vial, higiene, electrónica, cosmética, deportes y espionaje, entre otros [29, 30].

### **La nanociencia y nanotecnología como enseñanza interdisciplinaria**

La ciencia se presenta al hombre desde su origen, cuando buscaba comprender el mundo que le rodeaba y ocuparse de los fenómenos que se manifiestan y de los misterios de lo desconocido. Sobre esto [31] se afirma que el conocimiento primitivo está motivado por algo externo a la actividad cognitiva misma: la necesidad de controlar los fenómenos naturales, con miras a la supervivencia biológica misma. En esta perspectiva, podemos decir que la ciencia busca permanentemente soluciones a problemas científicos de diversa índole, en especial a los problemas de la sociedad contemporánea y, en este contexto, las tecnologías han desencadenado cambios en la vida de las personas desde el punto de vista social, económico y cultural. Además, el desarrollo de nuevos conocimientos y soluciones a problemas de la vida cotidiana han llevado a la creación de nuevas subáreas de conocimiento y también a áreas profesionales, impactando significativamente en las prácticas sociales y el mundo del trabajo [17].

Un desafío importante en el aprendizaje en el área de la N&N es la capacidad de los estudiantes para comprender el verdadero tamaño y escala de los objetos [32] dentro de la nanoescala. Esto dificulta la comprensión plena del mundo que le rodea, por lo cual, los estudiantes no pueden tener una experiencia auténtica del nano-mundo o llevar a cabo experimentos prácticos con el fin de determinar los principios de fenómenos a nanoescala. Además, en un estudio centrado específicamente en la ingeniería y concepciones



de los estudiantes universitarios sobre el tamaño y la escala, [33] se reportó una amplia variación en la forma en que los estudiantes entienden este concepto. Del mismo modo [34] examinando la comprensión de los estudiantes sobre el tamaño y escala, se encontró que la mayoría de los estudiantes concebían todos los objetos que no se pueden ver a simple vista como del mismo orden de magnitud. En otro estudio llevado a cabo con estudiantes de secundaria, [35] se encontró que tenían dificultades para discernir entre diferentes tamaños de objetos a microescala y nanoescala. En este estudio, los estudiantes de secundaria también tuvieron dificultades para identificar cuántas veces un objeto era más grande o más pequeño que otro a medida que la diferencia entre los tamaños de los objetos se hizo más grande.

Otro desafío en la enseñanza de la N&N es la capacidad de los estudiantes para explicar la propiedad del cambio de nanomateriales con la relación superficie-volumen. Estudios recientes, realizados con la participación de investigadores, ingenieros y expertos en educación científica, han identificado el concepto de «relación superficie-volumen» como un concepto nodal de la nanociencia [36]. Blonder y Yonai [37] resaltan la importancia de la relación área superficial/volumen, como está presente en muchos procesos unitarios, tales como la tasa de difusión, la actividad enzimática, la tasa de reacciones químicas, el crecimiento celular y la física de la construcción de estructuras de diferentes tamaños. Los autores concluyeron que la comprensión de los estudiantes sobre la relación área de superficie/volumen estaba muy correlacionado con su capacidad de razonamiento proporcional y, por lo tanto, con niveles más altos de pensamiento cognitivo.

En vista de estas innovaciones y posibilidades, surgen conceptos importantes, como el de la N&N. Según Jones y colaboradores [38] la nanociencia ha sido identificada como una nueva ciencia; sin embargo, el estudio de los elementos en la escala nanométrica precede al uso de este nombre, ya que el desarrollo de instrumentos apropiados para observar y manipular estos elementos ha tenido un fuerte impulso en las últimas dos décadas, dando lugar al surgimiento de una nueva tecnología que aparece en escena, cargada

de promesas e incertidumbres. La nanotecnología, a su vez, se refiere a la ingeniería de materiales a partir de átomos y moléculas, que posibilita utilizar los resultados de la nanociencia para la manipulación y reorganización de nanopartículas, promoviendo otras combinaciones y, con ello, la elaboración de nuevos materiales y dispositivos. De igual modo, está propiciando a la ciencia un nuevo salto evolutivo, posibilitando nuevas rupturas científicas [38, 39].

Además, en la actualidad existe una gran usabilidad y aplicabilidad de la nanotecnología en las diversas áreas del conocimiento, ya que esta se manifiesta y favorece la relación interdisciplinaria entre áreas debido a las posibilidades de convergencia que surgen de las manipulaciones a nivel de nanoescala, dando lugar a nuevos productos e implicaciones para la vida humana [39, 40]. Los autores añaden que, entre las diversas áreas del conocimiento, la física, la química, la biología, las matemáticas, la informática, la ingeniería, la ética y la legislación, las ciencias de la salud, la economía y el medio ambiente son áreas fuertemente favorecidas en esta relación multidisciplinaria.

En este sentido, las áreas de conocimiento se convierten en contextos que pueden favorecer la aplicación y desarrollo de innovaciones tecnológicas específicas de cada área, así como la investigación de nuevas nanoestructuras [30, 39], que promuevan manipulaciones diferenciadas, recursos biológicos más activos, dando lugar al surgimiento de nuevos nanomateriales (materiales naturales, incidentales o manufacturados), que contengan partículas en estado desagregado o en forma de agregado o aglomerado, y en cuya distribución de número y tamaño el 50 % o más de las partículas tengan una o más dimensiones externas en el rango de tamaños entre 1 nm y 100 nm. En casos específicos y siempre que esté justificado por motivos ambientales y de salud, seguridad y competitividad, el umbral del 50 % de distribución número-tamaño puede sustituirse por un umbral entre el 1 y el 50 %, y la elaboración de sistemas virtuales más eficientes y dinámicos [41].

Una educación basada en N&N se convierte en una fascinante propuesta para introducirnos en el misterio de lo que no es visible y

palpable, así como en las innumerables implicaciones y aplicaciones de una tecnología involucrada en la sociedad; una sociedad que de ahora en adelante no volverá a ser la misma y que ha de estar consolidada en espacios generadores de innovación, de respuestas rápidas y de conocimiento a través de debates tecnocientíficos y multidisciplinarios. Lamentablemente, investigaciones recientes reflejan una disminución significativa en el interés de estudiantes por estudios relacionados a las ciencias, tanto en educación básica como en la educación media [30, 40].

Un tema de vital importancia en la educación actual es incluir el enfoque de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) en la formación científica del estudiante, un aspecto que, aunque contemplado en los Parámetros Curriculares Nacionales y en las diferentes orientaciones curriculares, no se formaliza en las aulas a menudo, al menos no de forma perenne ni contextualizada. Según la Comisión Europea, [42] se ha identificado una distancia significativa entre la práctica y la teoría en relación con la inserción del discurso CTS en la educación, debido a diferentes factores, resaltando la brecha entre la formación del docente y alumno y la necesidad de un debate más productivo sobre los aspectos curriculares de la enseñanza de las ciencias. Esto debido a que la educación actual y científica debe considerarse como un proceso dinámico, preestablecido y cambiante durante las diversas fases del desarrollo de conocimiento.

El desafío de discutir el desinterés en las carreras científicas multidisciplinarias, y buscar propuestas para minimizar su ocurrencia se convierte en un aspecto fundamental para garantizar el avance del conocimiento en áreas como la física, química y biología, pero, sobre todo, para permitir la consolidación del conocimiento emergente, especialmente si tienen una naturaleza interdisciplinaria. Este es precisamente el caso en el campo de la N&N, que está contribuyendo, de manera sostenible, a la evolución del conocimiento, estando presente en la mayoría de las revistas científicas. De acuerdo con Calipinar y colaboradores [43] la nanotecnología es la manipulación de la materia a escala nanométrica. Es el diseño, creación y manipulación en forma precisa de átomos y moléculas para la fabricación y desarrollo de nuevos

materiales, aparatos y sistemas novedosos. Las nanopartículas tienen un área de superficie grande y, a menudo, exhiben diferentes propiedades mecánicas, térmicas, ópticas, magnéticas, químicas y superficies microscópicas [17, 42].

En nuestros días, en los cuales la actividad científica adquiere un nuevo y protagónico realce como parte de la educación, ha de ir aliada estratégicamente la enseñanza, introduciendo conocimiento técnico y específico en asignaturas de ciencias naturales y exactas, ciencias técnicas, ciencias sociales y humanas, de forma coherente, espontánea y dinámica, formulándose la ciencia como pilar para desarrollar un conjunto de nuevos conceptos, leyes y teorías que conforman el ámbito cognoscitivo de la nanociencia y la nanotecnología. Como muestra de ello, [44] se implementó el proyecto «Nanotechnology for Science Education (NTSE)» en instituciones educativas de Turquía, Bulgaria, Grecia, Italia y Rumania, con el fin de incrementar el interés de estudiantes y docentes por la ciencia. Al introducir la nanotecnología en la enseñanza de las ciencias consolidaron el conocimiento y las aplicaciones de la nanotecnología en ambas partes.

En un trabajo realizado en el Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, se menciona que las estrategias de colaboración son necesarias para la difusión y la educación de la nanociencia y nanotecnología. El trabajo presenta acciones y perspectivas para la formación interdisciplinaria de docentes en N&N en el campo del Estado de São Paulo, en Brasil, donde la institución académica interactúa mediante un programa institucional y finalmente discuten las motivaciones de estudiantes participantes y las contribuciones de la institución a una red internacional dedicada a la difusión y educación en nanociencia y nanotecnología [45]. En un estudio realizado en Brasil se describieron y analizaron los procedimientos para la elaboración y aplicación de una secuencia didáctica sobre los conceptos básicos de los materiales a escala nanométrica. Los autores desarrollaron una secuencia didáctica con estudiantes de educación básica. Esta secuencia comprendía: los avances que este campo de estudio ha hecho posible al hombre; la presencia de materiales nanométricos

en la vida cotidiana de la sociedad, innovaciones del mercado y perspectivas futuras. Después de la aplicación de la secuencia didáctica, se verificó y evidenció la expansión del conocimiento científico y tecnológico de los aprendices, así como un mayor interés por comprender la ciencia y una mayor motivación para participar en debates como agentes sociales para decidir sobre temas de ciencia y tecnología [46].

En otra investigación realizada en Taiwán, se presentó el proyecto K-12 Nano Tech. Para desarrollar la educación en nanotecnología, se emplearon lecciones basadas en evidencia. En combinación con el interés en STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) y la educación para superdotados, el objetivo del proyecto fue cultivar la capacidad de los maestros para enseñar nuevas tecnologías y mejorar el interés y la comprensión de las ciencias básicas de los estudiantes para producir innovaciones en el futuro desarrollo industrial y tecnológico. Aplicaron un modelo de instrucción 5E, tanto en la teoría como en la práctica de la ciencia. Emplearon el efecto de «lotolección» de educación en nanociencia para estudiantes de primaria. Los resultados de la evaluación mostraron resultados de aprendizaje positivos y los estudiantes expresaron que disfrutaron de las actividades. El trabajo, respaldado con lecciones apropiadas para la edad y bien planificadas, brinda a los estudiantes de alta capacidad la oportunidad de aprender conceptos avanzados con el plan de estudios STEM [47].

En otro trabajo realizado en Turquía se quisieron determinar los niveles de conciencia, exposición y conocimiento de los profesores de ciencias (física, química y biología) sobre la N&N. Docentes de escuelas secundarias en Turquía formaron el grupo de trabajo. Los resultados mostraron la necesidad de una mayor formación de los profesores de ciencias en N&N para aumentar su nivel de conciencia y conocimiento, y asegurar su preparación en la enseñanza de este tema. Los niveles de conciencia, exposición y conocimiento de N&N de los maestros estaban en un nivel «neutral». Este estudio muestra la necesidad de una mayor formación de los profesores de ciencias

en N&N para aumentar el nivel de conciencia y conocimiento, asegurando su preparación para la enseñanza de este tema [48].

En Sudáfrica, en una exposición de un museo de ciencias que contiene técnicas, aplicaciones, carteles, videos y pantallas interactivas en nanotecnologías, se investigó en qué medida los estudiantes de educación básica podría abordar temas de N&N [49]. Los estudiantes que visitaron la exposición ampliaron sus conocimientos sobre N&N, pero el resultado más importante fue el aumento del interés de los estudiantes hacia esta. Asimismo, en Taiwán se aplicó un curso de N&N a alumnos de educación básica [50]. Los alumnos lograron mejoras significativas en su comprensión con respecto a los temas de N&N, que se dividieron en tres secciones llamadas: «Nanofenómenos en el mundo natural», «Nanomateriales y sus efectos de escala» y «Definición, características y aplicaciones de nanotecnología», respectivamente.

Un estudio reciente se enfocó en el diseño e implementación de una secuencia de enseñanza-aprendizaje para estudiantes de sexto grado de primaria. El objetivo fue investigar cómo los estudiantes de primaria abordan los conceptos básicos de N&N y en qué medida pueden reflexionar sobre cuestiones de Investigación e Innovación Responsables. Los resultados concluyen señalando que la enseñanza de N&N es trascendental, incluso en la educación primaria. Además, esta tecnología emergente proporcionaría un contexto apropiado para la introducción de Investigación e Innovación Responsables en la educación científica [51]. Otro estudio en Costa Rica tuvo como objetivo socializar los conceptos, aplicaciones y beneficios de la nanotecnología entre personal educador. Se impartieron talleres y se abordaron temas fundamentales de la nanotecnología y sus aplicaciones con exposición de charlas, actividades prácticas y discusiones. Este proyecto contribuyó a fortalecer el conocimiento de los educadores sobre la nanotecnología y sus aplicaciones; además, se dieron a conocer proyectos de investigación nacionales e internacionales relativos a la nanotecnología, que permitirán que los educadores sean capaces de transmitir los nuevos conocimientos a la población estudiantil y se conviertan en multiplicadores del conocimiento [52].

El avance acelerado de la N&N sugiere la necesidad de desarrollar iniciativas de educación con el objetivo de enseñar los requerimientos académicos en las carreras enfocadas en N&N. La sociedad requiere estar informada, por lo tanto, el rol del educador debe trascender de manera tal que los estudiantes adquieran, no solo conocimientos sino también la habilidad de comunicar (divulgar) la N&N a la sociedad [53].

### **Nanociencia y nanotecnología como enseñanza en la pospandemia COVID-19**

Los autores Santos, Rebello y colaboradores [1, 10] enfatizan que la N&N debe ser un tema discutido en las escuelas e instituciones para ampliar temas contemporáneos de manera que los estudiantes aprendan contenidos científicos y su interdisciplinariedad. Los autores enfatizan que, al enseñar N&N, los materiales, además de ser entendidos en la escala nanométrica, deben demostrar diferentes y exclusivas propiedades físicas, químicas y biológicas, permitiendo así nuevas aplicaciones. Las propiedades de los nanomateriales representan actualmente un gran avance en la ciencia. En tiempos de pandemia, la visibilidad de la ciencia aumenta y los procesos de comunicación entre investigadores, científicos y la población cobran relevancia. A pesar de la visibilidad de la investigación en medio de la pandemia, muchos estudiantes buscan información científica confiable, así como información poco confiable. Desde este punto de vista, la divulgación científica y la exposición del conocimiento científico debe fomentarse en los estudiantes, sirviendo como un puente de suma importancia para acercar a la ciencia. Pensar en estrategias didácticas o propuestas pedagógicas con un enfoque interdisciplinario en un intento de acercar a este público a los contenidos científicos refuerza el papel de la ciencia en la pandemia.

La enseñanza de la N&N, desde el nivel básico de educación, permitiría un aprendizaje amplio y pleno del estudiante. Debido a que la N&N ha sido ampliamente requerida para enfrentar el COVID-19, surge un debate más extenso sobre la necesidad de implementar métodos diversos en la enseñanza de ciencia,

asegurando el aprendizaje del estudiante y el desarrollo de contenido educativo acorde a su realidad y a los cambios que esta le presenta en una realidad alterada por la pandemia.

La N&N como una interdisciplina emergente se puede contextualizar y trabajar en las escuelas a partir de conceptos sobre virus y sus tamaños a nanoescala, formas de inmunización, prevención y atención. También, se puede presentar a través de la divulgación científica a partir de la difusión de resultados de investigación con nanomateriales prometedores en la lucha contra el coronavirus. Aplicaciones de la nanotecnología, como algunos kits de diagnóstico de enfermedades que se desarrollan de una manera más rápida y sencilla, sin necesidad de grandes equipos, también revelan el aporte de esta ciencia en la pandemia. Es evidente que existen varios enfoques nanotecnológicos que han sido ampliamente requeridos para enfrentar el COVID-19 [1].

En esa perspectiva, la enseñanza de la N&N en la educación actual atribuye evidentemente implicaciones en los procesos educativos de enseñanza-aprendizaje y posibilita la promoción de discusiones y reflexiones sobre los impactos de la ciencia y sus recursos. En esta tendencia, se busca despertar en los estudiantes las habilidades, competencias y el pensamiento crítico sobre esta área. Proyectos como estos acercan la realidad científica a las escuelas y juegan un papel fundamental para llamar la atención sobre la necesidad de la investigación científica como componente decisivo en el desarrollo de un país: las alternativas para la enseñanza interdisciplinaria.

## **Conclusiones**

En el escenario de la pandemia de COVID-19, las prácticas y estrategias de la interdisciplinaria dentro de las ciencias cobran relevancia en la enseñanza que abordan cuestiones científicas como la N&N, un área del conocimiento que actualmente se destaca en la sociedad contemporánea por sus aportes en los más diversos campos científicos.

La enseñanza de la N&N en el marco de la disciplina de las ciencias y sus aplicaciones tecnológicas multidisciplinarias implementarían



un nuevo paradigma en la educación del conocimiento científico y la innovación tecnológica, convirtiéndose en un generador de nuevas habilidades científicas en los estudiantes.

Es posible discernir múltiples posibilidades de discusión sobre el papel de la educación actual como activo transmisor de conocimiento científico y sus perspectivas de contribución a la transformación de nuevas concepciones educativas, que puede constituir un soporte para el desarrollo de actividades en el área de la enseñanza de las ciencias de la N&N.

La enseñanza de la N&N como propuesta interdisciplinaria es un portal para aprender, comprender y vincular la ciencia, así como la oportunidad para enseñar sobre sus aplicaciones tecnológicas en un entorno escolar, teniendo en cuenta que la tecnología moderna se está moviendo decisivamente hacia una nueva tecnología a nivel nanoescala.

Para contribuir al desarrollo de la N&N, las instituciones académicas están llamadas para la enseñanza de estas áreas del conocimiento interdisciplinario de las ciencias en la educación básica y superior y, por ende, la mejora en la formación científica de docentes.

Se propone la enseñanza de la N&N en la educación actual porque atribuye significativamente en los procesos educativos de enseñanza-aprendizaje, posibilitando la promoción de discusiones y reflexiones sobre los impactos de la ciencia interdisciplinaria, disciplina que relativamente no fue abordada a cabalidad durante la pandemia de COVID-19 en el sistema educativo por vacíos como la falta de enseñanza interdisciplinaria, una realidad que continuará en la pospandemia ocasionada por el COVID-19.

## Referencias

- [1] D. S. Santos, *Universidade de Brasília* **2**, 15 (2022).
- [2] R. L. Rodrigues, *Brazilian Journal of Development* **7**, 125319 (2021).
- [3] World Health Organization, *Situation report 1: Novel coronavirus (2019-nCoV)* (2020).

- [4] J. J. Mendes, J. A. Paiva, F. Gonzalez, P. Mergulhão, F. Froes, R. Roncon, and J. Gouveia, *Rev Bras Ter Intensiva* **33**, 487 (2022).
- [5] K. G. Andersen, A. Rambaut, W. Lipkin, E. C. Holmes, and R. F. Garry, *Nat. Med.* **26**, 450 (2020).
- [6] P. M. Duarte, *Braz J Health* **3**, 3585 (2020).
- [7] H. Akbar, A. Masoomeh, and et al., *J Controlled Release* **336**, 354 (2021).
- [8] D. Chakhalian, R. B. Shultz, C. E. Miles, and J. Kohn, *J Biomed Mater Res A* **108**, 1974 (2020).
- [9] A. Saxena, D. Khare, S. Agrawal, A. Singh, and A. Dubey, *Emergent Materials* **4**, 57–73 (2021).
- [10] A. Rebello, M. Argyros, L. Leite, and S. M., *Quimica Nova Na Escola* **34**, 3 (2012).
- [11] B. Hingant and V. Albe, *Stud Sci Educ* **46**, 121 (2010).
- [12] M. Moliner, *Sinopsis de Dicionario de uso de Español (2 Vols.) (2<sup>a</sup> Ed.)*, Vol. 2 (Gredos, 1992) p. 489.
- [13] M. A. C. Román, *UNAM* **14**, 207 (2003).
- [14] M. Uddin and A. Chowdhury, *Conferência Internacional de Educação em Engenharia*, Session 8B2 (2001).
- [15] P. Da Silva and J. Da Silva Lopes, *REnCiMa* **11** (2020).
- [16] M. S. Novo, *Nanociências, nanotecnologia: uma visão desde seu nascimento até apresentação das temáticas à sociedade (university federal do rio grande (tese de doutorado))* (2013).
- [17] M. L. Tomkelski, G. Scremin, and S. B. Fagan, *Ciên. & Educ.* **25** (2019).
- [18] A. Mohammad, C. Lau, A. Zaharim, and M. Omar, *Procedia Soc Behav Sci.* **60**, 405 (2012).
- [19] P. A. Schulz, *Rev. Bras. Ensino Fís.* **40** (2018).
- [20] P. Schulz, *Ciência Hoje*, 308 (2013).
- [21] R. P. Feynman, *J Microelectromech Syst* **1**, 60 (1992).
- [22] M. M. Ferreira, *Nanoestruturas: Princípios e aplicações*. (Elsevier, 2014) pp. 21–25.

- [23] N. C. Mueller, B. Van der Bruggen, and et al., *J Hazard Mater* **211-212**, 275 (2012).
- [24] V. Sargentelli, *Ambiente: Gestão e Desenvolvimento* **4** (2012).
- [25] A. A. Leonel and C. A. Souza, *Encontro nacional de pesquisa em educação em ciências*, 1 (2009).
- [26] L. Su, Q. Ou, L. N. Y. Cao, Q. Du, and D. Y. H. Pui, *J Aerosol Sci* **132**, 32 (2019).
- [27] N. Elahi, M. Kamali, and M. H. Baghersad, *Talanta* **184**, 537 (2018).
- [28] N. B. Quispe, E. G. Fernandes, F. Zanata, J. R. Bartoli, D. H. Souza, and E. N. Ito, *Waste Manag Res* **33**, 908 (2015).
- [29] J. Ramsden, *Nanotechnology: An Introduction, Second Edition* (Elsevier, 2016) pp. 23–34.
- [30] S. S. Samal and S. R. Manohara, *Mater. Today: Proc.* **10**, 151 (2019).
- [31] S. S. Chibeni, *Introdução à filosofia da ciência* (Unicamp, 2011) p. 2.
- [32] C. Xie and A. Pallant, *The Molecular Workbench Software: An Innovative Dynamic Modeling Tool for Nanoscience Education* (Springer Netherlands, 2011) pp. 121–139.
- [33] D. Swarat, M. Wiemann, and H. G. Lipinski, *Crossing Borders within the ABC: Automation, Biomedical Engineering and Computer Science* **55**, **2010**, 892 (2010).
- [34] A. J. Magana, S. P. Brophy, and L. A. Bryan, *Int J Sci Educ* **34**, 2181 (2012).
- [35] M. G. Jones, R. Blonder, G. E. Gardner, V. Albe, M. Falvo, and J. Chevrier, *Int J Sci Educ* **35**, 1490 (2013).
- [36] E. Yonai and R. Blonder, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* **16**, 010110 (2020).
- [37] M. G. Jones, G. E. Gardner, M. Falvo, and A. Taylor, *Nanotechnol. Rev.* **4**, 117 (2015).
- [38] S. Murriello, D. Contier, and M. Knobel, *J. of Sci. Com.* **5** (2006).
- [39] I. Zanella, S. B. Fagan, V. Bisognin, and E. Bisognin, *Simpósio Nacional de Ensino de Física* **5**, 1 (2009).

- 
- [40] H. E. Toma, *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século. 2. ed.* (Oficina de textos Pro-Reitoria de Pesquisa, 2009).
- [41] Comunicação da comissão ao parlamento europeu, ao conselho e ao comité económico e social europeu (2012).
- [42] D. Lazarou, S. Erduran, and R. Sutherland, *Learning, Culture and Social Interaction* **14**, 51 (2017).
- [43] H. Calipinar and D. Ulas, *Procedia Computer Science* **158**, 1011 (2019).
- [44] L. M. Gorghiu and G. Gorghiu, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* **46**, 4174 (2012).
- [45] A. V. Ribeiro, M. P. De Souza Filho, and A. B. Alfonso, *Momento* (2016).
- [46] J. V. Alves and M. C. A. Lima, *Ensino e Multidisciplinaridade* **4**, 33 (2018).
- [47] H. Yu and E. Jen, *Roeper Review* **42**, 38 (2020).
- [48] Z. Ipek, A. D. Atik, S. Tan, and F. Erkoç, *Issues in Educational Research* **30**, 134–155 (2020).
- [49] T. Saidi and E. Sigauke, *J Sci Educ Technol* **26**, 470–480 (2017).
- [50] S. Lin, M. Wu, Y. Cho, and H. Chen, *Res. Sci. Technol. Educ.* **33**, 22 (2015).
- [51] A. Mandrikas, E. Michailidi, and D. Stavrou, *Res. Sci. Technol. Educ.* **38**, 377 (2020).
- [52] M. Camacho, D. Batista, R. Mora, J. Vega, and G. Oca, *Uniciencia* **36**, 36 (2022).
- [53] M. L. García, *Revista de Educación y Desarrollo* **41** (2017).