

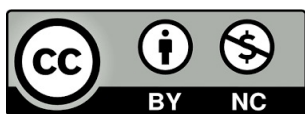
Jerusalen Jaime Lahoz

Perfiles, dificultades y
herramientas para la divulgación
de la Nanociencia en eventos de
educación no formal

Director/es

Cascarosa Salillas, María Esther

<http://zaguan.unizar.es/collection/Tesis>



Universidad de Zaragoza
Servicio de Publicaciones

ISSN 2254-7606

Tesis Doctoral

PERFILES, DIFICULTADES Y HERRAMIENTAS
PARA LA DIVULGACIÓN DE LA NANOCIENCIA EN
EVENTOS DE EDUCACIÓN NO FORMAL

Autor

Jerusalen Jaime Lahoz

Director/es

Cascarosa Salillas, María Esther

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
Escuela de Doctorado

Programa de Doctorado en Educación

2024

Tesis Doctoral

Perfiles, dificultades y herramientas para la
divulgación de la Nanociencia en eventos de
educación no formal

Autora

Jerusalén Jaime Lahoz

Directora

Esther Cascarosa Salillas

Facultad de Educación

Año 2023

ÍNDICE

BLOQUE 1: INTRODUCCIÓN	9
BLOQUE 2: MARCO TEÓRICO	18
CAPÍTULO 2.1: LA ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA	19
2.1.1. La divulgación científica	33
2.1.2. Perfiles y competencias para la divulgación de la ciencia	53
CAPÍTULO 2.2: APLICACIONES, DIVULGACIÓN Y DIFICULTADES DE LA NANOCIENCIA EN LA EDUCACIÓN NO FORMAL.....	70
Capítulo 2.2.1. La Nanociencia	71
Capítulo 2.2.2. La divulgación de la Nanociencia	83
Capítulo 2.2.3. Dificultades para la divulgación de la Nanociencia	93
Capítulo 2.2.4. Formatos y herramientas para la divulgación de la Nanociencia	100
BLOQUE 3: DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	113
CAPÍTULO 3.1. OBJETIVO Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	114
CAPÍTULO 3.2. DISEÑO Y FASES DE LA INVESTIGACIÓN	119
BLOQUE 4: PERFIL DEL EDUCADOR CIENTÍFICO Y DIFICULTADES	123
CAPÍTULO 4.1: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE PERFILES Y DIFICULTADES.....	124
4.1.1. Instrumentos para el análisis	125
4.1.2. Diseño y validación del cuestionario	131
CAPÍTULO 4.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN CUESTIONARIO	155
BLOQUE 5: FORMACIÓN DE EDUCADORES CIENTÍFICOS	167
CAPÍTULO 5.1. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA FORMACIÓN DE EDUCADORES CIENTÍFICOS DE NANOCIENCIA	168
5.1.1. Instrumentos para el análisis	169
CAPÍTULO 5.2. RESULTADOS DE LA FORMACIÓN Y DISCUSIÓN	176
BLOQUE 6: HERRAMIENTA DIDÁCTICA “LOS NANOMARTES”	196
CAPÍTULO 6.1. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE HERRAMIENTA DIDÁCTICA NANOMARTES	197
6.1.1. Análisis de la herramienta didáctica	198
CAPÍTULO 6.2: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ANÁLISIS DE LA HERRAMIENTA DIDÁCTICA.....	214
BLOQUE 7: CONCLUSIONES	235
ANEXOS	241
Anexo 1. Cuestionario	242
Anexo 2. Presentación utilizada en la formación sobre divulgación de la Nanociencia y la Nanotecnología	247

Anexo 3. Transcripción y codificación de la formación sobre divulgación de la Nanociencia	252
Anexo 4. Cuestionarios docentes sobre proyecto Nanomartes	265
Anexo 5. Guía didáctica “Los nanomates”	268
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	289
WEBGRAFÍA	336
ÍNDICES	338

“La ciencia puede estar en todas partes, desde la cocina hasta el jardín. Lo importante es aprender a mirar el mundo con ojos de científico y encontrar la maravilla en lo cotidiano.”

Steve Spangler

DEDICATORIA

A mis hijos, por haberme enseñado los mejores secretos de la vida.

A mi madre, por ser el mejor ejemplo de valentía, esfuerzo y dedicación que la vida ha podido darme.

A la memoria de mi padre, a quien no tuve la oportunidad de contarle que me embarcaba en este proyecto, del que hubiese estado, sin dudar, muy orgulloso. Por su honestidad y contagiarnos siempre con su optimismo

A Guillermo y familia, por su apoyo y por creer en mí, siempre.

A mi hermana y mi sobrina, por el cariño y la complicidad.

A mi tío, por ser mi más fiel seguidor.

A mis amigas, las de ciencias, las de letras, los de aquí y los de allá, por tantas y tantas aventuras.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a todo el equipo del Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón, por haber confiado desde el comienzo de su andadura en nosotros para ayudarles a llevar a cabo la apasionante labor de divulgar la Nanociencia a la sociedad.

Agradezco a Jesús M.M., por todo su tiempo y dedicación, por descubrirme la que sería mi pasión, pero también mi profesión y forma de vida y también por sembrar en mí la curiosidad por realizar esta tesis. Gracias por su apoyo siempre.

A todo el equipo de Esciencia, en especial a mis socias, por permitirme seguir creciendo y aprendiendo cada día y por permitirme utilizar materiales y herramientas para su análisis en esta tesis.

A todos los docentes e investigadores que trabajan para acercar la Nanociencia en las aulas y fuera de ellas.

Y a mi directora de tesis, por sus ánimos y consejos durante todo el proceso.

Nota de relevancia: a lo largo de esta tesis se ha utilizado lenguaje inclusivo para atender al género de todas las personas referidas. Sin embargo, cabe la posibilidad de haber cometido algún error, por lo que sirva este párrafo para expresar que todos los géneros tienen cabida en el manuscrito.

BLOQUE 1: INTRODUCCIÓN

Motivación personal para la realización de esta tesis

Aunque mi formación de base es la de Ciencias Químicas, he dedicado casi toda mi carrera profesional a la divulgación científica, inicialmente a través del proyecto “El Circo de la Ciencia®” donde estuve activamente involucrada y después, a través del proyecto empresarial Esciencia Eventos Científicos S.L. del que soy socia cofundadora y del que he sido responsable del departamento de Formación y Contenidos durante los últimos 17 años.

A lo largo de este tiempo, he participado y dirigido el desarrollo de numerosas herramientas de divulgación de la ciencia en general y particularmente de la Nanociencia, ya que de forma paralela comenzó su andadura en nuestra ciudad el entonces llamado Instituto de Nanociencia de Aragón, con el que hemos trabajado en estrecha colaboración.

Es por ello, que he tenido la oportunidad de trabajar especialmente sobre la divulgación de este contenido, desde la elaboración de metodologías y herramientas para su difusión y divulgación, hasta la realización de cursos y formaciones para formar a recién titulados de carreras científicas y docentes de ciencias, en la divulgación de la Nanociencia. Igualmente he llevado a cabo personalmente muchas de estas actividades. En resumen, he participado tanto en el diseño de estas, como en su ejecución y formación.

Durante este tiempo, se me han presentado retos y preguntas que me han motivado a comenzar la presente investigación, compaginándola con mi trabajo en Esciencia (como se puede ver en las fotografías de la página siguiente), de forma que he podido establecer sinergias entre ambas, que considero interesantes reflejar en esta tesis.

Este trabajo, no ha saciado completamente mi curiosidad, y al intentar responder ciertas preguntas, se han planteado otras nuevas, que posiblemente abrirán nuevos caminos para futuros proyectos de investigación en este campo, del que he hecho mi medio y forma de vida.



La divulgación de la Nanociencia

En el mundo actual, resultaría prácticamente inconcebible incluso realizar las actividades cotidianas sin la presencia y el concurso tangible de los más diversos adelantos tecnológicos y toda esta tecnología deriva directamente de los progresos del conocimiento científico, a través de la investigación. En esta última década hemos asistido a la irrupción de la Nanociencia y la Nanotecnología, como una de estas áreas punteras de investigación, que se está desarrollando tanto en los países más avanzados como en aquellos con economías emergentes.

La Nanotecnología no solo es una línea de investigación con un gran porvenir, sino que ha comenzado a proporcionar sus primeras aplicaciones comerciales en sectores como la electrónica, la automoción, el material deportivo, la cosmética, el medio ambiente o la medicina.

De forma simultánea, la Nanotecnología se ha convertido en un tema de gran repercusión mediática que, en cierto modo, refleja la fascinación que provoca la capacidad de controlar la forma y composición de la materia a escala atómica y molecular, utilizando diferentes técnicas y aproximaciones. Este control es el que permite acceder a nuevas propiedades que solo se manifiestan a escala nanométrica, o controlar a voluntad las ya conocidas, logrando con ello, no solo la miniaturización de dispositivos, sino la síntesis de nuevos materiales con propiedades singulares.

La investigación a nanoescala ha planteado un gran reto a las comunidades de educadores y divulgadores en la creación de nuevos métodos y aproximaciones para conocer el trabajo de los nanocientíficos e informar al público acerca de los avances en la investigación científica en este campo. La población consume esta información y determinados segmentos de la población perciben el conocimiento científico como algo muy útil en su día a día (Hurtado et. al, 2017) y, el recurso más habitual de comunicación entre el ciudadano y la ciencia es la divulgación científica.

La divulgación de la Nanociencia, también se considera relevante a la hora de fomentar vocaciones científicas y por tanto captar a las nuevas generaciones que podrían elegir

carreras dentro de la Nanociencia y Nanotecnología (Crone y Koch, 2006), cuya importancia es determinante para el progreso científico y de nuestra sociedad.

Es por ello que, en los últimos años, han proliferado numerosas iniciativas para divulgar la Nanociencia en diferentes formatos como exposiciones, talleres, teatros, concursos, espectáculos científicos, blogs de experimentos, *podcast* de comunicación científica, monólogos y juegos de inspiración *escape*, entre otros, como herramientas para atender la creciente curiosidad y demanda de contenido científico por parte de la ciudadanía, pero igualmente para llevar este contenido al aula. Además, debido a la creciente demanda de formación especializada en el ámbito de la comunicación, promovido por el interés creciente de nuevos públicos que demandan una información de calidad y accesible, se han generado nuevos nichos de negocio en el sector de la comunicación. Por ello, en los últimos años, han aparecido, por ejemplo, másteres para la formación de periodistas en comunicación de la ciencia y para investigadores en comunicación, además de la propia labor de fomento de vocaciones científicas, ya que el progreso científico y por tanto de nuestra sociedad, necesita que los jóvenes sigan interesándose por la ciencia y las carreras científico-técnicas.

La tarea divulgadora de la Nanociencia abarca una gran variedad de prácticas realizadas a través de diferentes canales y en las que intervienen diversos agentes divulgadores, entre los que destacan los propios científicos, docentes, periodistas y gestores culturales (Serena y Tutor, 2011). Lo que no hemos encontrado en la bibliografía es la descripción, y por tanto el análisis, de una figura derivada de esta eclosión que es la que hemos denominado como “educador científico”. Se trata de una figura intermedia entre el docente de ciencias de la educación formal y el divulgador científico, que suele operar en el contexto de la educación no formal.

El educador científico no forma parte del equipo docente, pero en ocasiones trabaja en el aula (o fuera de ella, pero para los mismos destinatarios) realizando también la transposición de contenidos científicos, que pueden o no estar incluidos en el currículo académico o ser complementarios a este, o incluso se encarga de la formación de docentes si son ellos los que van a realizar finalmente esta labor divulgativa. Hoy, no existe una formación específica para este perfil que suele cubrirse con profesionales de

unas características determinadas, por ejemplo, jóvenes investigadores o recién licenciados en ciencias.

En el caso particular de la divulgación de la Nanociencia, nos encontramos con la peculiaridad de los contenidos a tratar ya que, aunque cada vez el público escucha más acerca de términos como la Nanociencia y la Nanotecnología, difícilmente los comprende (Sánchez-Mora, 2009) ya que, en este caso, nos enfrentamos a un cuerpo de conocimientos donde su manejo presupone obstáculos de orden conceptual (Tagüeña, 2011).

Estas consideraciones hacen especialmente interesante el estudio de los perfiles dedicados a la divulgación de la Nanociencia en la educación no formal para analizar los obstáculos y dificultades que encuentran en la tarea divulgadora. Esta exploración parece un interesante punto de partida de cara a la mejora de estrategias orientadas, no solo a la formación de los educadores, sino a la del diseño de prácticas más eficientes para la divulgación de la Nanociencia y por tanto a establecer sinergias con la educación formal.

En este contexto, se plantea la presente investigación con el propósito de analizar las dificultades encontradas para la divulgación de la Nanociencia basándonos en la figura del “educador científico”, su formación y las herramientas didácticas para la divulgación de la Nanociencia de manera presencial. Para ello, es preciso explorar las características de este perfil, las dificultades que percibe y las competencias necesarias, para poder incidir sobre la formación y estrategias que podrían implementar el desarrollo de la práctica divulgadora.

El objetivo general es, por tanto, analizar el perfil de los educadores y las dificultades que encuentran en el desarrollo de la tarea divulgadora, la formación de investigadores y perfiles técnicos para la divulgación de la Nanociencia, así como analizar una herramienta didáctica diseñada para la divulgación de la Nanociencia para obtener información que permita mejorar la práctica divulgadora de la Nanociencia.

Para ello, se ha estructurado la tesis en tres partes. La primera parte establece el marco teórico que sustenta la investigación y cuyo itinerario se representa a continuación:

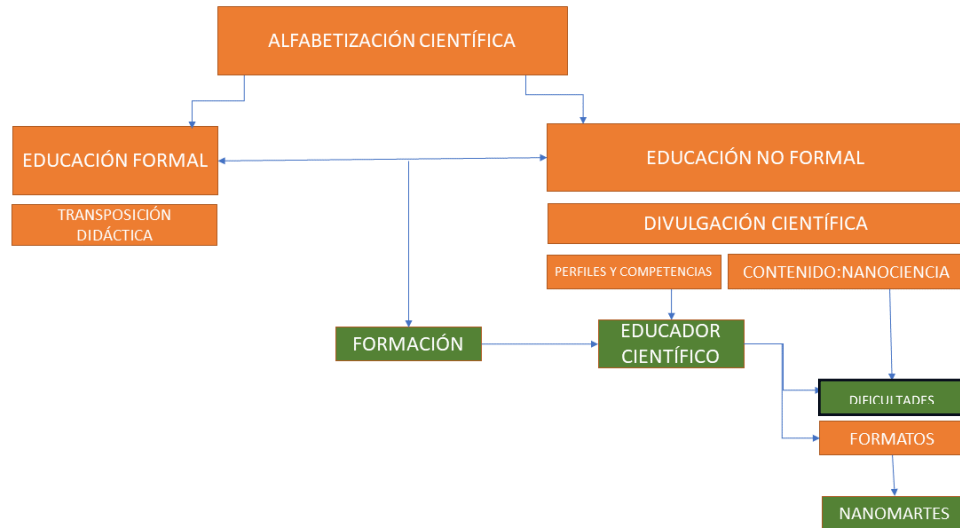


Figura 1. Esquema de la estructura conceptual de la tesis (elaboración propia)

Para poder comprender el objetivo de la investigación desarrollada, se ha realizado una revisión de los temas de los que trata. En el bloque del marco teórico se establecen los apartados relacionados con estos temas. Se comienza en el primer capítulo revisando el tema de la alfabetización científica de la sociedad en función de los contextos donde se aborda. En la educación formal nos centramos en la revisión de los conceptos de transposición didáctica, y el abordaje de las ideas previas de los aprendices. En el ámbito de la educación no formal, conceptualizamos el canal más utilizado para la alfabetización científica; la divulgación de la ciencia. Para ello revisamos la bibliografía respecto a cuáles son sus objetivos, funciones, los agentes que intervienen y cómo se evalúa. A continuación, nos centramos en uno de los elementos clave de esta investigación, la descripción de los perfiles que realizan la divulgación científica, revisando para ello las competencias y necesidades formativas. Acabamos este capítulo definiendo un nuevo perfil que denominamos “educador

científico” estableciendo las similitudes y diferencias con los perfiles descritos anteriormente.

El segundo capítulo del marco teórico se centra en la divulgación del contenido objeto de estudio de esta tesis; la Nanociencia. Para ello, comenzaremos describiendo en qué consiste y cuáles son sus principales aplicaciones, así como los conceptos clave para su divulgación. Después continuaremos con la revisión del estado de la divulgación de la Nanociencia en España. Comenzaremos justificando la necesidad de su divulgación para pasar a continuación, a revisar las peculiaridades y singularidades de esta, con el objetivo de abordar las dificultades para su divulgación. Por último, revisaremos las herramientas y formatos que existen para la divulgación de esta rama del saber, poniendo especial atención a los desarrollados por el Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (INMA).

En el siguiente bloque, se recoge el diseño de la investigación, comenzando con la definición del problema y el planteamiento de las preguntas de investigación que sirven de guía para la formulación de las hipótesis. Se establecen los objetivos y se selecciona la metodología en el enfoque del estudio, así como la descripción de las muestras que intervienen.

En el bloque 4 llevamos a cabo el proceso de investigación de la primera de las partes de la tesis; el análisis de los perfiles, competencias y dificultades para la divulgación de la Nanociencia en España. En el primer capítulo de este bloque, revisamos la parte metodológica de la investigación y sus fases, es decir, el proceso de diseño y validación del instrumento de análisis de los perfiles y dificultades de los educadores encargados de la divulgación de la Nanociencia en eventos presenciales dentro del contexto de la educación no formal. En el siguiente capítulo se presentan los resultados del análisis y la discusión de resultados correspondiente.

El bloque 5 recoge la investigación correspondiente a la acción formativa para la divulgación de la Nanociencia. En primer lugar, se presenta la metodología para el análisis de una sesión de formación de educadores de Nanociencia, para pasar a continuación a describir los resultados y su discusión.

El bloque 6 corresponde a la investigación de una herramienta didáctica de muestra para la divulgación de la Nanociencia: los maletines experimentales “Los Nanomartes”, utilizados por docentes e investigadores para la divulgación de contenidos de Nanociencia en eventos y acciones de divulgación científica. Igualmente, el bloque recoge la metodología y los resultados obtenidos del análisis y su discusión.

En el último bloque se presentan las conclusiones extraídas de la investigación y se contrastan con los objetivos planteados. Para finalizar, se propone una prospectiva de esta investigación y un conjunto de acciones cuya intención es darle continuidad, así como una breve reflexión sobre los aspectos que se podrían implementar en el futuro.

Por último, se incluye un apartado con las referencias bibliográficas y fuentes de información citadas a lo largo de la memoria.

BLOQUE 2: MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 2.1: LA ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA

En la sociedad actual, sería impensable poder llevar a cabo la mayoría de las acciones cotidianas sin contar con los avances tecnológicos y los resultados de la investigación científica, por lo que resulta incuestionable plantearse la necesidad de que los ciudadanos posean una cultura científica y tecnológica que les permita, no solo estar informados sobre aspectos cotidianos de la ciencia, sino la participación activa en una sociedad involucrada con la ciencia y la tecnología (Falk y Dierking, 2012; Smol, 2018).

La alfabetización científica ha cobrado además un valor esencial en la actualidad, dada la mayor presencia de contenidos científicos en el debate y la opinión social, así como la proliferación de información muchas veces no avalada por la evidencia científica, como las denominadas *fakes news* y los agravantes que la crisis sanitaria ha tenido respecto a la comunicación de aspectos relacionados con la ciencia (Dantas y Deccache-Maia, 2020; López-Borrul, 2020; López-Borrul y Ollé, 2020). El concepto de alfabetización científica debería abordar y responder a la pregunta de qué es necesario que la sociedad conozca, ponga en valor y sepa hacer, para desenvolverse apropiadamente en situaciones en las que están presentes la ciencia y la tecnología (Romero-Ariza, 2017), dando prioridad al aprendizaje y minimizando la idea de una ciencia abstracta y alejada de la realidad (Pérez-Martín, 2018).

Para conseguir esta cultura científica, el ciudadano de a pie debe poder adquirir la capacidad para aplicar el razonamiento científico (Schoerning, 2018), construir ideas científicas y argumentos racionales, analizar e interpretar evidencias, participar en las estructuras sociales que rigen la actividad científica e involucrarse en prácticas no exclusivamente escolares (Brown et al., 2005). Es necesario, por tanto, que esta cultura científica, contemple, no solo el conocimiento y reconocimiento de hechos científicos, sino la comprensión amplia y general de los métodos utilizados en la generación del conocimiento científico.

La educación escolar, constituye el mecanismo indispensable para la adquisición de esta cultura científica básica y, por tanto, para iniciar la consecución del objetivo de la alfabetización científica. Por ello, los docentes aplican herramientas de aprendizaje innovadoras mediante el acceso abierto al conocimiento científico, tanto en el tramo escolar (Gómez-Lucía et al., 2019) como el sistema universitario.

De hecho, la propia definición de cultura científica se ha enfocado principalmente en describir la posesión de los conocimientos científicos correspondientes y no tanto en definir las estrategias necesarias para su construcción y probablemente por ello, la mayoría de las estrategias para medirla, se basan en herramientas de la formación educativa formal (Rosales Sánchez et al., 2020).

Pero la alfabetización científica, no solamente ocurre en el ámbito de la educación formal y concretamente enfocándonos en los conocimientos de ciencias, gran parte de estos se adquieren fuera del sistema escolar tradicional y, por tanto, otra manera de aumentar la comprensión pública de la ciencia es llegar a las personas fuera del aula, que es donde pasan la mayor parte de su vida (Falk y Dierking, 2010).

Homs (2001) describe de la siguiente manera estas formas alternativas de educación, en base a una terminología educativa descrita por Coombs et al. (1973):

“Al hablar de educación informal nos referimos exactamente al proceso a lo largo de toda la vida a través del cual cada individuo adquiere actitudes, valores, destrezas y conocimientos de la experiencia diaria y de las influencias y recursos educativos de su entorno —de la familia y vecinos, del trabajo y el juego, en el mercado, la biblioteca y en los medios de comunicación. La educación formal significa, desde luego, el sistema educativo jerarquizado, estructurado, cronológicamente graduado, que va desde la escuela primaria hasta la universidad, e incluye, además de los estudios académicos generales, una variedad de programas especializados e instituciones para la formación profesional y técnica a tiempo completo. [...] definimos la educación no formal como cualquier actividad educativa organizada fuera del sistema formal establecido —tanto si opera independientemente o como una importante parte de una actividad más amplia— que está orientada a servir a usuarios y objetivos de aprendizaje identificables (Coombs et al. 1973 citado en Homs, 2001).”

No obstante, en la bibliografía consultada se ha encontrado confusión entre los términos educación no formal y educación informal.

Pacheco (2007) define la educación no formal, como la modalidad educativa cuyas actividades o programas se llevan a cabo por determinados grupos sociales, identificados como educativos, “pero cuya estructura institucional no certifica para los ciclos escolarizados avalados por el estado”. Bajo este contexto, este autor presenta algunos ejemplos de lo que podría considerarse actividades o prácticas de la educación no formal:

- Educación en el tiempo libre
- Pedagogía del entorno
- Museo pedagogía
- Educación permanente
- Educación comunitaria

Herrera (2006) señala en cambio, que “la educación no formal sería un proceso educativo voluntario, pero intencionado y planificado, aunque permanentemente flexible, que se caracteriza por la diversidad de métodos, ámbitos y contenidos en los que se aplica.”

Dib (1988) defiende que la educación informal contempla actividades como visitas a museos o centros de investigación, escuchar programas de radio o televisión de temas científicos, la lectura de textos científicos en revistas o periódicos, la asistencia a conferencias o la participación en ferias de ciencia, entre otros. También incluye acciones que se pueden realizar en el propio domicilio como juegos científicos y kits de experimentos. Dentro del contexto de la ciencia, existen numerosas y diversas iniciativas tales como charlas, congresos, laboratorios abiertos, exposiciones, talleres y ferias científicas. Todas ellas podrían clasificarse como iniciativas de la educación o aprendizaje informal, ya que gran parte o la mayoría, suceden fuera de las clases formales (Jeffs y Ord, 2017). Araújo (2015), añade otro aspecto de interés a cerca de que la educación no formal está concebida para ser agradable atendiendo a su carácter lúdico y no obligatorio.

Colado (2021), recoge en esta tabla (ver tabla 1) las características de ambos contextos en base a la propuesta original de Luque (1997) atendiendo a aspectos como los

objetivos, los destinatarios, la temporalización de actividades, los espacios de acción, los tipos de aprendizajes y los grados de institucionalización:

Tabla 1. Características de la educación formal y no formal (extraído de Colado, 2021)

CARACTERÍSTICAS	EDUCACIÓN FORMAL	EDUCACION NO FORMAL
Objetivos	Objetivos mayormente didácticos Proceso intencionadamente educativo	Proceso intencionadamente educativo Responde a necesidades básicas educativas
Destinatarios	Toda la población en edad de escolarización	Grupos o subgrupos concretos de población Mucha diversidad en función de las necesidades
Temporalización de actividades	Duración de un curso académico (normalmente, septiembre-junio) Horario fijo y no cambiante	Suelen ser de corta duración Buscan el efecto a corto plazo No hay un horario estricto
Espacios de acción	Escolar, en las escuelas o centros educativos (institutos, universidades...) Rol educativo por excelencia profesor	Extraescolar y de ámbito local Mayor diversidad y versatilidad de espacios Numerosos roles educativos
Tipo de aprendizaje	Contenidos marcados por un currículum común a todos los centros educativos Aprendizaje significativo Encaminados a la obtención de un título	Contenidos básicos: habilidades, destrezas... Aprendizajes funcionales, aplicados a la vida diaria Normalmente relacionados con objetivos sociales
Grados de institucionalización	Contexto puramente institucionalizado Contexto centralizado	Es una actividad organizada pero no institucionalizada Menor grado de centralización

A pesar de los esfuerzos por diferenciar estos conceptos, no existe acuerdo en la bibliografía para definir estas categorías divisorias de la educación (formal, no formal e informal) y concretamente para definir el aprendizaje no formal de las ciencias, porque no tienen bien definidos sus límites, ya que no consideran una relación y jerarquía lógica.

Estas complicaciones y la dificultad de determinar si el aprendizaje no formal puede ocurrir en ambientes de aprendizaje formales y viceversa, o si se trata de conceptos opuestos, llevan a los autores a replantear nuevos esquemas para explicar las relaciones funcionales entre estas categorías (Guisasola y Morentin, 2007).

Nuestro estudio estaría enmarcado en el contexto de la educación no formal, aunque consideraremos pertinente incluir algunas matizaciones a estas definiciones. Según nuestra experiencia, los puntos clave de diferenciación serían los siguientes:

- Se trata de actividades no integradas dentro del sistema educativo jerarquizado, aunque en ocasiones tengan lugar en el aula y a pesar de que en ocasiones puedan vincularse con el currículo académico (ya que se trata de un ejercicio ajeno y provocado expresamente para la acción).
- No son evaluadas, respecto a que no se evalúan los aprendizajes adquiridos por los destinatarios, aunque si puedan ser analizadas respecto a unos objetivos definidos y unos impactos.
- Son voluntarias, con el matiz de que cuando son integradas de forma voluntaria por el docente en el aula, no son completamente voluntarias para el receptor final (el alumnado), de igual forma que cuando tienen lugar en otros espacios, son los responsables o tutores de los menores los que deciden sobre su participación.

En este camino hacia la alfabetización científica, es necesario considerar aspectos clave como las actitudes hacia la ciencia, no solo de los aprendices, sino también de las personas encargadas de alfabetizar. Las actitudes hacia la ciencia han sido ampliamente estudiadas, teniendo en cuenta las diferentes dimensiones que pueden influir en el desarrollo de estas.

El concepto de actitud ha sido revisado desde diferentes perspectivas, siendo el modelo de expectativa-valor defendido por Fishbein (1963; 1967), y Fishbein y Ajzen (1975; 1980) uno de los más extendidos dentro de la comunidad científica.

Según estos autores, “la actitud es una predisposición aprendida hacia el objeto de actitud para responder consistentemente de un modo favorable o desfavorable hacia este”. La actitud consta de tres componentes claramente diferenciados:

- Componente afectivo. Se refiere a los sentimientos de agrado o desagrado que se pueden referir sobre un objeto conocido, especialmente si los referentes tienen interés para la persona.

- Componente cognitivo. Está relacionado con los conocimientos que tiene el sujeto sobre el objeto, dado que estos son suficientes para fundamentar una actitud.
- Componente conductual. Relacionado con las tendencias de acción, es decir, con la predisposición a responder de una forma determinada ante el objeto

Actitudes hacia la ciencia

Educación formal

Las dimensiones más estudiadas en cuanto a su influencia en las actitudes hacia la ciencia están relacionadas con la implicación social de la ciencia, el disfrute de la ciencia, el interés por temas científicos y el fomento de vocaciones científicas (Akpinar et al., 2009; Ali et al., 2013; Caleon y Subramaniam, 2008; Denessen et al., 2015; Guzey et al., 2016; Huang, Chiu et al., 2016; Jarvis y Pell, 2005; Mihladiz et al., 2011; Molina et al., 2013; Pérez-Manzano y de Pro Bueno, 2018; Vázquez-Alonso et al., 2006, Vázquez Alonso y Manassero Mas, 2008).

Los resultados muestran que el género y la edad son las variables más influyentes en el desarrollo de actitudes hacia la ciencia en las investigaciones llevadas a cabo con estudiantes de Educación Primaria. Respecto al género, la mayoría de los estudios han mostrado históricamente que los niños presentan mejores actitudes hacia la ciencia que las niñas (Caleon y Subramaniam, 2008; Denessen et al., 2015; DeWitt y Archer, 2015; Hacieminoglu, 2016; Jarvis y Pell, 2005; Pérez Manzano y de Pro Bueno, 2018; de Pro Bueno y Pérez Manzano y 2014; Vázquez-Alonso y Manassero Mas, 2008) aunque las actitudes de estos decrecen más rápidamente, a medida que aumenta el curso escolar. (George, 2006).

Las niñas muestran en general menor disfrute en el aprendizaje de la ciencia y la tecnología (Denessen et al., 2015), y concretamente de las clases de ciencias (Marbà-Tallada y Márquez Bargalló, 2010). También se muestran más indecisas sobre su preferencia por las carreras científicas y tecnológicas (Caleon y Subramaniam, 2008). En la actualidad, esta tendencia parece estar minimizándose y autores como Pérez-Franco, de Pro-Bueno y Pérez Mánzano (2014) han registrado actitudes más favorables en las chicas en la mayoría de las cuestiones ambientales, a pesar de que las de los

chicos también son positivas, mostrando estas más responsabilidad, concienciación y respeto.

En otros estudios, en cambio, el género parece no influir en las actitudes hacia la ciencia (Babaoğlan y Arıkan, 2017; Khishfe y Boujaoude, 2016; Nortes y de Pro Bueno, 2010), a pesar de que se han encontrado diferencias significativas de género en cuanto a las concepciones científicas (Khishfe y Boujaoude, 2016).

Con respecto a la edad y el nivel académico, se produce un decrecimiento de las actitudes positivas hacia la ciencia, a medida que aumenta el curso escolar (Akpınar et al., 2009; Ali et al., 2013; Denessen et al., 2015; DeWitt y Archer, 2015; de Pro Bueno y Pérez Manzano, 2014; Manassero Mas, 2008 y Vázquez Alonso). No obstante, aunque las actitudes hacia la ciencia escolar disminuyen drásticamente en la etapa de Educación Secundaria, las actitudes hacia la importancia de la ciencia siguen siendo positivas (Akpınar et al., 2009; George, 2006).

En cambio, los estudiantes más mayores de Educación Primaria y de los primeros años de Secundaria suelen mostrar actitudes negativas hacia el disfrute de las clases de ciencias (Ali et al., 2013; DeWitt y Archer, 2015). El mayor decrecimiento de las actitudes se produce en el segundo nivel de secundaria tanto hacia la ciencia en general (Akpınar et al., 2009), como hacia las clases de ciencias (Marbà-Tallada y Márquez Bargalló, 2010).

Existen investigaciones con otros enfoques. Por ejemplo, DeWitt y Archer (2015) estudiaron las aspiraciones de estudiantes de últimos cursos de primaria y secundaria por carreras científicas, resultando que las actitudes positivas de los niños hacia la ciencia escolar y las actitudes positivas de los padres hacia la ciencia no se traducían en un mayor deseo por cursar estudios científicos.

También existen referencias respecto al estudio de las actitudes de los futuros docentes encontrando que entre estudiantes de magisterio no se detecta una actitud negativa hacia la ciencia, aunque sí se detecte un factor de género que puede influir en esta percepción y que existen diferencias significativas entre los sentimientos que despiertan las ciencias en función del género (Talavera et al., 2018). La actitud hacia la

ciencia y el medio ambiente en la mayoría del futuro profesorado es positiva, aunque la tendencia cambia cuando nos referimos a la actitud frente a la ciencia escolar, posiblemente porque está muy alejada de la vida cotidiana (van Aalderen-Smeets y Walma van der Molen, 2013).

Los docentes identifican la importancia de enseñar las ciencias en el aula, pero muestran percepciones negativas por la falta de recursos y conocimientos (Jiménez-Tejada et al., 2016; Mazas y Bravo, 2018). Los estudios con docentes en activo muestran resultados similares (Erden y Sönmez, 2011).

Otra aproximación interesante es la de los estudios enfocados a medir el impacto que las actitudes de los docentes hacia la enseñanza de las ciencias pueden tener sobre las actitudes de los estudiantes hacia el disfrute de las clases de ciencia y su autopercepción de eficacia. Los resultados indican que parece existir una relación directa entre los estudiantes que desarrollaban peores actitudes hacia la ciencia escolar durante la etapa de Educación Primaria y los maestros que poseían un bajo interés por la ciencia y que esta relación se daba especialmente en el caso de las niñas (Denessen et. al, 2015).

Algunos autores han estudiado la vinculación emocional o relación entre las actitudes y las emociones. Cabe destacar estudios como el de Matute (2012) o Mora (2013) en los que se pone de manifiesto que, para estimular un aprendizaje significativo en el alumnado, la ciencia debe emocionar.

Educación no formal

En la literatura, apenas se encuentran estudios de la evaluación de las actitudes hacia la ciencia en la educación no formal.

Bogdan et al. (2019) estudiaron las actitudes hacia la ciencia de alumnos de Primaria que participaron en actividades científicas extracurriculares. Los resultados mostraron que los estudiantes que habían participado en estas actividades tenían actitudes más positivas hacia la ciencia que otros estudiantes, pero no hay diferencias significativas respecto a las actitudes hacia las clases de ciencias. Marbá-Tallada y Márquez Bargalló (2010), obtuvieron resultados similares, por lo que la participación en actividades

extracurriculares de ciencias no implicaría una mejora de las actitudes hacia la ciencia escolar.

Con respecto a la percepción y actitudes hacia la investigación científica, estudios como el de Ortega-Carrasco et al. (2018) señalan que existen debilidades como la escasa participación en eventos de divulgación científica de los estudiantes, ya que el aprendizaje de la ciencia, aunque tradicionalmente enfocado en el ámbito escolar, necesita complementarse con acciones fuera del aula para reforzar los conocimientos adquiridos y acercar al estudiante a la sociedad, integrando su saber con el desarrollo científico- tecnológico que se está experimentando, de forma que se promueva, no solo el aprendizaje, sino el desarrollo de competencias y conocimiento de actitudes (Vasconcelos y Praia, 2005). A este respecto, existen diferentes contextos no formales como excursiones escolares, salidas de campo, ferias de ciencias, proyectos, programas para estudiantes y visitas a museos, entre otros (Guisasola y Morentin, 2007), mostrando una vez más, que la escuela ha dejado de ser exclusiva y ha dejado protagonismo a otros escenarios dentro del contexto de la educación no formal (Domínguez Sales y Guisasola, 2010). Los docentes atribuyen un elevado valor formativo a las visitas a los museos de ciencia, pero la bibliografía señala que no suelen planear unos objetivos concretos de la visita y que no aplican su conocimiento pedagógico (Aranzabal y Moretín, 2009).

En el caso de otras experiencias, como las mencionadas ferias de ciencia, los estudios muestran que aumentan la motivación e interés por la ciencia y disminuyen la percepción de complejidad de dicha materia, constituyendo un impacto positivo en los asistentes, independientemente de su género o nivel socioeconómico (Araújo, 2015; Bencze y Bowen, 2009; Oppliger et al., 2019).

Dentro del estudio de las motivaciones en el contexto de la educación no formal, nos parecen relevantes para este estudio, los enfoques sobre el análisis de las motivaciones que llevan a los científicos a involucrarse en actividades divulgativas (Kreimer et al., 2011; Martín-Sempere et al., 2008), entre las que destacan la de informar sobre las investigaciones financiadas con fondos públicos y conseguir mayor apoyo social hacia la investigación (Alonso Flores, 2022).

A parte de las actitudes hacia la ciencia, otro de los aspectos más estudiados y referenciados en la bibliografía, es el caso de los museos de la ciencia (Alderoqui, 2009; Alderoqui y Pedersoli, 2010; Dominguez, Arrendodo et al., 2020; Falk y Dierking, 2010; González, et al., 2021; Marandino et al., 2009; Macías et al., 2020; Murriello, 2017; Pinto et al., 2020; Reynoso Haynes, 2012; 2014; Wagensberg, 2000; 2005; 2010), marco sobre el que volveremos más adelante en esta tesis, cuando abordemos en el apartado de los divulgadores científicos, para revisar el perfil de estas figuras en el espacio de los museos.

Una vez revisados los estudios sobre actitudes hacia la ciencia, nos centraremos en el análisis de la alfabetización científica en la educación formal como punto de partida para su análisis en el contexto de la educación no formal y lo hacemos centrándonos en dos conceptos; la transposición didáctica y las ideas previas de los aprendices en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Alfabetización científica en la educación formal

Trasposición didáctica

En 1975, Verret ya puso de relieve el concepto de Didáctica, abordando la transformación del objeto de enseñanza en las prácticas docentes y en la década de los 80, comenzaron los debates que cuestionaban la relación didáctica docente-alumno y se reconsideró el saber científico a través de la Didáctica. Surgen, entonces, una serie de conceptos relacionados con el campo de la epistemología.

Chevallard desarrollo en 1991 el concepto de “saber sabio”, como el saber de “unos pocos” (p.196), propiedad de una minoría de especialistas, que pueden comprender el lenguaje específico. El autor explica que, para su transmisión, este “saber sabio” debe ser modificado, de manera que resulte comprensible y accesible a otros investigadores y a la sociedad donde se difunde. De esta forma, el “saber académico” se descontextualiza, despersonaliza y pierde historicidad en manuales y textos que prescinden de la explicación y de las particularidades sobre cómo se produce el conocimiento científico.

En contraposición, el “saber enseñado o didáctico” es el construido por el docente en su planificación y práctica, redactado con su propio "texto de saber", a través de una propuesta para el trabajo con sus estudiantes en el aula.

En resumen, la transposición didáctica consistiría en la transformación del “saber científico” a un “saber enseñado”, susceptible de ser enseñado, es decir, el proceso por el cual se modifica un contenido de saber para adaptarlo a su enseñanza (Chevallard, 2000). De esta manera, el “saber sabio” es transformado en “saber enseñado”, adecuado al nivel del estudiante.



Figura 2. Esquema trasposición didáctica (Chevallard, 1991).

Para ilustrar el concepto, Chevallard (1982) presenta un esquema de transposición didáctica aplicado al concepto “distancia” desde su uso cotidiano, su introducción como parte del saber matemático, su inclusión en los programas escolares y su puesta en práctica en los diferentes momentos de enseñanza.

Distancia



Figura 3. Aplicación del concepto de transposición didáctica al concepto de distancia según Chevallard (2000)

Por tanto, la ciencia escolar es el resultado de este proceso de reelaboración, no siempre explícito, conocido como transposición didáctica, y que no debe ser entendido únicamente como simplificaciones sucesivas (Jiménez y Sanmartí, 1997), sino como un proceso donde han de ser conjugados y equilibrados tantos aspectos científicos, como aspectos educativos.

Por otra parte, creemos que es oportuno revisar cómo se abordan las ideas previas para la alfabetización científica desde el ámbito de la educación formal, por si pudiesen establecerse sinergias o similitudes que nos permitan aproximarnos a cómo abordar las ideas previas en la educación no formal.

Ideas previas

Las ideas previas son construcciones que los sujetos elaboran para dar respuesta a su necesidad de interpretar fenómenos naturales o conceptos científicos, y para brindar explicaciones, descripciones o predicciones. Son construcciones de carácter personal, difícilmente modificables, pero también universales, de forma que, en muchas ocasiones, persisten a pesar de muchos años de enseñanza escolarizada (Bello, 2004). Para algunos autores, las ideas previas de los alumnos no conforman un sistema elaborado de ideas, para otros, poseen cierto grado de organización y consistencia, lo que permite considerarlas teorías. Otros manifiestan que, en ocasiones, cuando se interroga a los alumnos, se obtienen respuestas incoherentes que se contradicen entre sí y que cambian de un momento a otro (Meinardi et al., 2010).

En todo caso, lo que se hace relevante es encontrar una manera de relacionar las ideas previas del que aprende, con los modelos de la ciencia, si queremos que estos se integren en sus estructuras mentales y ver de qué modo se puede encaminar el trabajo de este aprendiz. Podríamos resumir que existen tres grandes posiciones: ignorar las ideas de los individuos, evitarlas o conocerlas.

Benlloch (2002) mostraba la importancia de tener en cuenta las concepciones previas de los aprendices en la adquisición de conocimientos. A este respecto debemos recordar que los niños interpretan los fenómenos a partir de su marco de referencia (Ausubel, 2000) El aprendizaje parte de esas ideas previas, ya que las nuevas informaciones se interpretan a través de ellas. Si no tenemos en cuenta este proceso,

los nuevos conocimientos no se vinculan con los conocimientos previos. Además, algunas ideas funcionan como verdaderos obstáculos para el aprendizaje, por lo que su conocimiento puede promover estrategias de enseñanza más eficaces (Bachelard, 1934).

Desde nuestra perspectiva, elegiremos la opción de vincular los contenidos con las ideas previas, ya que en el ámbito de la educación no formal, los participantes se acercan a los fenómenos naturales con una estructura conceptual ya formada o en vías de formación y mediante ella intentan explicar lo que observan (Cuesta et al. 2000), aunque estas ideas previas entren en conflicto con el fenómeno observado, bien por preconceptos adquiridos o por desconocimiento y provocan que el participante se replantee preguntas para explicar lo sucedido, favoreciendo, de esta forma, una modificación cognitiva.

Como hemos visto en este capítulo, la adquisición de la cultura o alfabetización científica se produce tanto en contextos de educación formales como no formales, a pesar de que los límites entre ellos son a veces difíciles de definir. También podemos concluir con el hecho de que, en el camino hacia la alfabetización científica, entran en juego aspectos clave como las actitudes, el proceso de transposición didáctica y el tratamiento de las ideas previas tanto en la educación formal, como en la no formal.

En todo caso, la divulgación científica, constituye el medio más utilizado para la alfabetización científica en el contexto de la educación no formal por lo que pasaremos a conceptualizarla en el siguiente capítulo.

2.1.1. La divulgación científica

Conceptualización de la divulgación científica

Definición de la divulgación científica

Los orígenes de la divulgación de la ciencia no pueden ubicarse en un periodo concreto ya que existe desde la antigüedad, remontándose a los momentos iniciales en los que el hombre comenzó a transmitir a sus coetáneos, a través de diferentes medios, las soluciones, descubrimientos y, al fin y al cabo, el conocimiento que construía, para facilitar su comprensión, asegurar la supervivencia y mejorar la convivencia. Algunos autores, apuntan a la publicación de algunos manuscritos, como los primeros hitos de la divulgación científica, como el libro de “El origen de las Especies” de Darwin o “Diálogos sobre los dos sistemas del mundo” (1632) de Galileo Galilei (Centella, 2010) y *Popular Science*, es considerada la primera revista donde aparecían publicaciones con un carácter divulgativo.

La divulgación en ciencia y tecnología puede ser definida como “toda actividad encaminada a difundir el conocimiento científico y tecnológico de forma que los contenidos sean asequibles y comprensibles por una población no especializada” (Belenguer, 2003). Esta sencilla definición contempla multitud de prácticas y objetivos que van más allá de la del mero acceso a la información, ya que pretende dotar a los ciudadanos de herramientas que le permitan participar activamente en la sociedad, así como desarrollar su pensamiento crítico para poder abordar y tomar decisiones mejor informadas (Calzada y Marzal, 2013).

Según Castro Díaz-Balart (2000), la divulgación científica es aquella que comprende todo tipo de actividades de ampliación y actualización del conocimiento, con las únicas condiciones de que sean tareas extraescolares, que se encuentren fuera de la enseñanza académica regulada y que estén dedicadas a público no experto.

Para Saks (2000), el propósito central de divulgar la ciencia es acercar esta al público en general. Es decir, difundir los resultados de la investigación científica y técnica y del conjunto de los resultados del pensamiento científico entre un público no especialista, a través de recursos fácilmente comprensibles y significativos para los destinatarios.

Fundora y García (2021) enfatizan que la divulgación científica se refiere a la información que se pone a disposición del público en general y no especializado, todo ello, a través de la transferencia de conocimientos, cultura y pensamiento científico-técnico. La divulgación comprende, por tanto, transferir conceptos e ideas, que se entiendan y aprendan de una manera pública (Zamarrón, 2002), y se trata de una tarea cuya responsabilidad principal corresponde a los investigadores, contribuyendo de esta forma, a la democratización del conocimiento (Espinosa Santos, 2010).

En la actualidad, el concepto de la divulgación científica ha evolucionado a otros como el de comunicación pública de la ciencia o incluso popularización de la ciencia, que engloban diversas tareas y que involucran diferentes agentes e incluso se han presentado modelos para evaluar sus efectos en diferentes modalidades y a través de distintos medios de comunicación, de acuerdo con el tipo de público en el que se pretende incidir (Sánchez-Mora y Macías, 2019).

En nuestro caso, proponemos una definición complementaria de la divulgación científica, ya que la definimos como toda aquella acción orientada a servir de nexo de unión entre los centros generadores de conocimiento científico (universidades, institutos de investigación, departamentos de I+D de empresas, etc.) y la sociedad y que abarca diferentes objetivos que van desde el entretenimiento hasta la formación, en función del ámbito en el que se lleve a cabo y el público destinatario, aunque en esta tesis nos centraremos en su objetivo más formativo y relacionado, por tanto, con la educación y la alfabetización científica de la ciudadanía.

Finalidades y modelos de la divulgación científica

Las finalidades de la divulgación científica engloban un conjunto de objetivos de diferente origen e importancia que Escobar (2017) agrupa de la siguiente manera:

- Función económica: orientada a la comprensión de la información relacionada con la ciencia y la tecnología financiadas con dinero público, con el objetivo de que esta sea valorada y respaldada, bajo la premisa de que, si algo no se conoce, difícilmente puede apoyarse (Erazo-Pesántez, 2007; Olivé, 2003).

- Función cultural: dado que la ciencia y la tecnología forman parte de la cultura, a pesar de que históricamente la cultura se ha vinculado más con el conocimiento en humanidades y la divulgación contribuye a minimizar o eliminar la separación entre ellas (Sánchez-Mora, 2000) o bien a crear una nueva cultura, que es la combinación de ambas (Erazo-Pesántez, 2007).
- Función social: debido a que la divulgación aporta beneficios sociales y políticos, ya que fomenta el compromiso cívico (Perrault, 2013) y en general por las consecuencias positivas que tiene para la sociedad.
- Función democrática, dado que las personas tienen derecho a saber qué se hace en ciencia y tecnología, conocer los riesgos y beneficios que trae o pueden acarrear el avance científico, para decidir si se comprometen con ellas y las apoyan, pues son factores que afectan su vida directa e indirectamente (Castella-nos, 2008; Cazaux, 2008; De Greiff y Maldonado 2011; Lozano, 2008).

En resumen, podríamos destacar cinco grandes conceptos fundamentales en la divulgación científica: comunicación, cognición, responsabilidad social, contextualización y participación ciudadana en la implantación de políticas públicas, que suponen una aproximación desde los tres ejes principales que forman parte de la tarea divulgadora: los científicos, los divulgadores y la sociedad.

Estas funciones se alinean con los diferentes modelos de comunicación para la divulgación científica y que podríamos resumir en dos: uno en el que el conocimiento se transmite de forma unidireccional u otro en el que sea de forma multidireccional (Escobar, 2017). Estos modelos están relacionados con los valores vinculados a la ciencia y a la tecnología, y su promoción en la sociedad y por ello algunos autores defienden la necesidad de identificar de antemano las circunstancias de contexto que servirán de referencia para el diseño de esos modelos comunicativos (Escobar-Ortiz y Rincón Álvarez, 2019).

Una vez revisada la definición y finalidades de la divulgación científica, nos centraremos en la revisión de los factores que intervienen en la misma.

Factores que intervienen en la divulgación de la ciencia

Burns et al. (2003) incluyen como factores intervinientes en la divulgación científica, además de la ciencia, es decir, los contenidos a divulgar y lo que se enciente por ella, el discurso que, a su vez, relacionan con el contexto y los destinatarios. A este respecto, diferencian entre público y participante de la actividad divulgativa.

El público al que se dirige la divulgación sería “cualquier persona de la sociedad”. Como este grupo resulta demasiado heterogéneo, los autores proponen su división en seis grupos que pueden solaparse, en función de los diferentes intereses, necesidades, actitudes y nivel de conocimiento:

- o Público experto: Científicos vinculados con la comunidad académica, con la industria o el gobierno.

- o Mediadores: entre los que se incluyen comunicadores científicos, periodistas y otros miembros de los medios, educadores y creadores de opinión.

- o Agentes relacionados con la toma de decisiones: Miembros gubernamentales, científicos y académicos ligados a la política científica y comunicacional.

- o Público general: Todos los grupos anteriores más otros sectores y grupos de interés, como, por ejemplo, escolares, ONGs

- o Público curioso: Parte de la comunidad interesada de antemano (y relativamente bien informados) en las actividades científicas y los científicos.

- o Público interesado: Gente interesada, pero no necesariamente bien informada sobre temas de ciencia y tecnología.

Los participantes serían aquellos que participan de las acciones de divulgación científica de forma directa o indirecta. En este grupo estarían por ejemplo incluidos aquellos que patrocinan o promueven eventos de divulgación científica. Es decir, pueden ser individuos del público general, incluidos investigadores, comunicadores, empresarios o miembros de los medios de comunicación.

Por último, describen los “resultados o respuestas”, que serían las acciones llevadas a cabo como actos divulgativos que, por ocurrir en el “mundo real”, no son fácilmente

controlables para su análisis y que por lo general necesitan sobre todo de habilidades de las ciencias sociales antes que de las naturales.” (Burns et al., 2003).

Objetivos de la divulgación científica

Estas funciones y modelos se traducen en unos objetivos más específicos que también han sido descritos en la bibliografía (González-Dávila, 2007; Hernando, 2006):

- Informar al público sobre los avances en materia científica y tecnológica, a través de explicaciones acordes al nivel cognitivo, interés, necesidades y características del público destinatario.
- Explicar la metodología y los procedimientos que sigue la ciencia para llevar a cabo la generación del conocimiento y avance científico.
- Fomentar la adquisición de herramientas que promuevan el pensamiento crítico y la búsqueda de soluciones a los problemas cotidianos.
- Ofrecer al público las pautas para que compare, valore y confronte los conocimientos, a fin de que los reconstruya con base a su propio contexto y obtenga conclusiones sobre la información científica y tecnológica que les es ofrecida.
- Contribuir a fomentar un pensamiento favorable hacia la ciencia, de forma que la sociedad apoye y valide tanto la inversión de recursos como participe en la definición de la política científica.
- Complementar la enseñanza escolarizada de la ciencia.
- Despertar vocaciones científicas entre escolares y adolescentes
- Fomentar una cultura científica y, en resumen, la alfabetización científica de la sociedad.

La divulgación científica contempla, por tanto, una serie de prácticas con diferentes finalidades y objetivos, adaptados a los públicos destinatarios y se muestra beneficiosa, por un lado, para la sociedad, ya que le permite comprender las causas a los fenómenos cotidianos y la adquisición de un método de análisis para la resolución de problemas del día a día, así como informarse de los avances de la ciencia y la tecnología. Para el científico generador de este conocimiento, ya que representa el ámbito principal en el que el público puede construir la percepción sobre la ciencia, su

confiabilidad, su importancia y, por tanto, sobre la necesidad de que se inviertan recursos en ella y para el divulgador (que puede ser o no el mismo científico), ya que constituye la herramienta idónea para servir de unión entre la ciencia y la sociedad.

Entornos para la divulgación de la ciencia

De forma general, podemos hablar de dos grandes entornos para la divulgación de la ciencia; los entornos reales o presenciales y los virtuales. Dentro de los espacios reales podemos hablar de; dentro del aula y fuera del aula, o incluso de formato mixto que tiene parte de intervenciones que se realizan en ambas.

Dentro del entorno virtual, contemplamos todas las acciones llevadas a cabo a través de medios de comunicación masivos y redes sociales. En relación con esto, la encuesta de percepción pública de la ciencia realizada por la FECYT en el año 2022, muestra que Internet es la primera fuente de información sobre ciencia para los españoles), lo cual coincide con los resultados en otros países (Brossard y Scheufele, 2013). A este respecto, Corley y Scheufele (2010) confirman el efecto positivo que tienen los nuevos medios para los públicos menos informados, que están sirviendo para reducir la polarización informativa entre los públicos con mayores y menores niveles culturales y educativos.

Se ha detectado también un incremento de usuarios que consumen información sobre ciencia a través de canales virtuales de divulgación científica (Allgaier, 2020), lo que ha llevado a que algunos de ellos lleguen a tener millones de suscriptores. La importancia de estos canales radica en que contribuyen a informar a una audiencia interesada en estos temas tan relevantes para la formación y, por consiguiente, para el futuro de la sociedad. Sin embargo, a pesar de la normalización del consumo de contenidos científicos a través de YouTube (Davis et al., 2020; FECTY, 2022; Johnston et al., 2018), el incremento del número de usuarios y el reconocimiento de su valor informativo (Davis et al., 2020; Johnston et al., 2018; Michalovich y Hershkovitz, 2020; Vizcaíno-Verdú et al., 2020), es reseñable la exposición diferencial por razón de sexo, ya que aún hoy, en España, la audiencia de estos canales es eminentemente masculina (Regueira et al., 2020), siendo el perfil más frecuente el de hombres de entre 15 a 24 años (FECYT, 2018).

En el contexto de los entornos presenciales de la educación no formal, los más estudiados son el caso de los Museos de Ciencia, como hemos indicado en el capítulo anterior, pero existe poca investigación respecto a la divulgación científica llevada a cabo en eventos científicos presenciales u off line, a pesar de que muchos de ellos tengan afluencia elevada e impactos masivos (FECYT, 2012).

Dos de los más instaurados entre la sociedad son “La Noche Europea de los Investigadores” y el “Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia”.

- La Noche de los investigadores

La European Researchers’ Night (ERN) es un proyecto de divulgación científica promovido por la Comisión Europea dentro de las acciones Marie Skłodowska-Curie del programa Horizonte Europa.

Se trata de un evento que tiene lugar simultáneamente en casi 400 ciudades europeas y que se celebra desde el año 2005. En España, son un total de ocho los proyectos financiados por la Comisión para los años 2022 y 2023, a los que se suman proyectos asociados.

Esciencia ha sido el organizador de este evento en Zaragoza desde el año 2011, los dos últimos años como proyecto asociado y en colaboración con la Fundación La Caixa.

Este proyecto ha sido evaluado en algunos países, incluido España (Domínguez Álvarez et. al, 2023; López Ruíz, 2021; López y Barbado, 2018;) desde el punto de vista de las percepciones entre diferentes públicos y las fortalezas y debilidades de este proyecto como evento de compromiso público (Roche et. al, 2017)., mostrándose como un entorno de aprendizaje de educación informal (Roche y O’Farrelly, 2018) que motiva a los asistentes, en particular a los jóvenes, a participar en la ciencia (Mazzitelli et. al, 2019).



Fotografía 1. Collage fotos European Researchers' Nigth en Caixaforum Zaragoza, 2018 (Esciencia).



Fotografía 2. European Researchers' Nigth en terraza Caixaforum Zaragoza, 2018 (Esciencia).

- El Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia

El día 11 de febrero fue proclamado en diciembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas como el Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia con el objetivo de lograr el acceso y la participación plena y equitativa en la ciencia para las mujeres y las niñas. Con la finalidad de promover la organización de actividades en torno a este día, surgió en España la Iniciativa 11 de febrero (11defebrero.org), que aglutina información sobre los logros de mujeres científicas, sobre la situación de la mujer en la ciencia y sobre todas las actividades que se organizan anualmente en torno a esta efeméride internacional.

El objetivo principal de la iniciativa es visibilizar el trabajo de las mujeres científicas, pasadas y presentes, contribuyendo a crear modelos femeninos en el ámbito de la ciencia y la ingeniería que ayuden a promocionar las vocaciones científicas en las niñas (Calderon, 2017).

En este contexto se organizan acciones educativas innovadoras que se han mostrado necesarias para trabajar en las desigualdades de género encontradas en el desempeño de tareas, responsabilidades y profesiones científicas (Sevilla et. al, 2020).



Fotografía 3. Actividad de divulgación de Nanociencia programada en el ámbito cultural de El Corte Inglés de Zaragoza con motivo del IIF (2022).

En nuestro caso, nos centraremos en la divulgación llevada a cabo en eventos presenciales dentro y fuera del aula, ya que en esta investigación pretendemos analizar los perfiles de las figuras que llevan a cabo divulgación en eventos presenciales, así como analizar la formación que reciben ya que consideramos que la interacción persona-persona y persona-contenido son clave para el éxito de la divulgación científica desde el punto de vista de la comprensión de los contenidos presentados.

La divulgación científica: diferentes aproximaciones para su estudio

La divulgación científica como objeto de estudio es relativamente reciente (Mulder y Goedhart, 2009) y probablemente por ello no cuenta todavía con un cuerpo teórico importante, lo que podría ser una de las razones de que la práctica de la comunicación científica no tenga mucho interés para la comunidad científica en general (Hvidfelt Nielsen, 2010.)

En cambio, ha sido estudiada desde diferentes perspectivas como la psicología (Alderoqui, 2009; Bell et al., 2009) o la lingüística, (Cassany, 2008; Ciapuscio, 2011; Gallardo, 2010), aunque la mayoría, la analizan desde el ámbito de la comunicación (Burns et al., 2003; Calvo Hernando, 2006; De Semir, 2001; Hvidtfeld Nielsen, 2010; Lewenstein, 2003), concretamente, los correspondientes a la divulgación llevada a cabo en los medios de comunicación masiva como el periodismo científico, la comunicación en el ámbito médico o la detección de vocaciones (Stekolschik et al., 2010) así como el análisis de los modelos comunicacionales vigentes, el tipo de divulgación y su evaluación (Trench y Junker, 2001; Turney, 1996; 2004; 2008), y muy pocos incluyen la perspectiva de la educación además de la comunicación (Taboada y Santiago, 2021).

También ha sido estudiada desde la rama educativa. Las autoras Sánchez-Mora y De Francisco (2013) coinciden en que la divulgación es una labor educativa en donde la educación no formal e informal se presentan como una alternativa para la formación científica de las personas excluidas de la educación formal.

Para llegar a esta conclusión las autoras diferenciaron los términos: educación, divulgación, enseñanza y aprendizaje, considerando que la educación es un proceso general que engloba a los procesos particulares de enseñanza y aprendizaje, mientras la divulgación es una labor educativa ya que comunica el conocimiento científico, sus valores y sistemas simbólicos a los miembros de la sociedad.

Una de las dimensiones menos estudiadas es la correspondiente a la forma en la que es concebida la divulgación científica, en la opinión de quienes la llevan a cabo. Un aspecto que consideramos clave, sobre todo si consideramos la vertiente educativa de la divulgación, como apuntaban Sánchez-Mora y De Francisco (2013) y a la que pretendemos contribuir con esta tesis.

Relación de interdependencia de la divulgación científica y la enseñanza de las ciencias

Diversos autores han abordado el asunto de la complementariedad de la divulgación científica con la enseñanza formal de las ciencias. Blanco-López (2004), resumía las similitudes en cuanto a que ambas comparten la misma finalidad y recopilaba las diferencias en cuanto a objetivos concretos, público al que va dirigido, y contextos en los que se realiza.

Tabla 2. Relación entre educación científica y divulgación científica (extraído de Blanco-López, 2004).

EDUCACIÓN CIENTÍFICA	DIVULGACIÓN CIENTÍFICA
Obligatoria para un sector importante de los ciudadanos	Voluntaria
Planificada, estructurada y secuenciada	Poco estructurada
Dirigida y legislada	No legislada
Evaluada y certificada	Ni evaluada ni certificada
Más cerrada	Más abierta
Centrada muchas veces en el profesor	Centrada en las personas concretas

Este autor proponía igualmente tratar la divulgación científica en la enseñanza de las ciencias desde tres roles diferentes: como recurso didáctico, como fuente de aprendizaje y como objeto de estudio en sí misma, ya que cada uno tiene objetivos educativos diferentes, por lo que es necesario encontrar perspectivas teóricas que logren alinearlos. Erazo-Pesántez (2007) también resalta esta característica de la complementariedad, independientemente de que ocurra en la educación formal o en la educación no formal e informal. Estrada (2011) comparte una visión similar, enfatizando el hecho de que la divulgación científica pudiese tener una función eminentemente lúdica, a expensas de su función educativa. El carácter complementario se confirma más bien por la flexibilidad de la divulgación científica, lo que la convierte en una poderosa herramienta para apoyar procesos educativos tanto de la educación formal como de la no formal e informal, con el objetivo de la comprensión pública de la ciencia y la tecnología en la sociedad.

Estos autores además coinciden en que esta complementariedad no debe hacer obviar las particularidades de cada uno de los públicos que participa en un contexto en concreto (formal, no formal e informal) de enseñanza de las ciencias, haciendo hincapié sobre el diseño de los modelos comunicativos que se pretenden utilizar y concretamente sobre su carácter unidireccional o multidireccional.

Como hemos comentado, al tratarse de una disciplina reciente, el concepto de divulgación científica o comunicación pública de la ciencia presenta aspectos sin definir o que plantean dudas sobre lo que se entiende por ellos. La justificación de la necesidad de la divulgación científica podría abordarse desde diferentes perspectivas: la del derecho a la información, la participación social en decisiones de carácter científico-técnico, la democratización de la información o el acceso a la cultura científica, entre otras. En nuestro caso nos centraremos en esta última, al vincularla con su dimensión de carácter educativo, aunque consideramos que el fin último es sentar los cimientos para establecer sinergias entre los diferentes objetivos de la labor divulgadora.

La evaluación de la divulgación científica

La comunicación de la ciencia y en especial la divulgación científica, han ganado terreno en la oferta de consumo cultural, lo cual se refleja en la exigencia por construir herramientas que ayuden a evaluar su calidad, dada la oportunidad que representan los sistemas de educación no formal en la alfabetización científica.

Si analizamos la divulgación desde una visión educativa, surgen por tanto planteamientos sobre su evaluación y cómo debe esta llevarse a cabo. Algunos autores, conciben este ejercicio como una herramienta de mejora de la calidad de los productos de divulgación y de los divulgadores, pero otros consideran que se trata de una barrera que afecta a la creatividad.

En este sentido, Reynoso (2008b) habla de dos posturas diferentes; los que se oponen a la evaluación de la divulgación científica dando prioridad a la libertad creativa y los que plantean esquemas muy estructurados para la evaluación de los productos y actividades de divulgación y sus ejecutores.

Estas actividades y sus metodologías se han evaluado con el objetivo de evidenciar su efectividad en la transmisión de los conocimientos, conceptos y habilidades que se pretenden transmitir, así como identificar factores sobre enfoques prometedores para futuras iniciativas (Diamond et. al., 2016). Algunos de los elementos de las iniciativas que han sido evaluadas son: conocimientos, pertenencia, habilidades, comportamiento, actitudes e intenciones, entre otros. Estas evaluaciones pueden ser de tipo cualitativo o cuantitativo, después de la exposición a los participantes a las actividades (Stern et al., 2014).

En el contexto universitario, Magaña (2008) propone unos requisitos que deben cumplir las actividades realizadas para la evaluación de la divulgación científica, como relacionar la ciencia con problemas naturales y sociales, proporcionar información suficiente para el análisis o presentar las implicaciones éticas, políticas y sociales del quehacer científico, entre otras. Pero no es sencillo medir la eficacia del trabajo de divulgación, ya que los impactos sólo pueden estimarse, y por ello la evaluación de esta tiene muchos aspectos subjetivos. Pero al igual que otros sistemas, los hasta

ahora usados tienen que ver con número y calidad e impacto, medido en forma indirecta (Magaña, 2008). Los parámetros implementados varían dependiendo de la naturaleza de las actividades divulgativas, es decir, para medir el éxito de las conferencias y exposiciones se emplean medidas como el registro de asistentes y los comentarios recogidos por escrito. En cuanto a los medios de comunicación masiva, se toma en cuenta el interés de la prensa en dar espacios a los divulgadores ya sea de manera presencial o por medio de colaboraciones. En el caso de la divulgación científica escrita, también se han realizado investigaciones para conocer la opinión de los lectores sobre este tipo de materiales (Tonda y Burgos, 2007).

Campillo (2015) diseñó una metodología para evaluar textos divulgativos en formato digital sobre biotecnología, con las siguientes categorías: público, registro lingüístico, discurso del texto, extensión, temporalidad gramática, rigor, plagio y recursos (presentación). A este ejemplo se suma la publicación de la “Guía de valoración de la actividad de divulgación científica del personal académico e investigador” elaborada por Red Divulga en colaboración con la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (Red Divulga, 2018), en donde se presentan índices de calidad para evaluar los aportes del emisor en la comunicación de la ciencia con el objetivo de valorar el currículum de investigadores y maestros en su labor de productor de libros, artículos, exposiciones y creación de materiales, entre otros. En esta línea, Jensen (2014) planteó una serie de problemas en la evaluación de la comunicación de las ciencias, en donde pone en evidencia las debilidades del diseño metodológico implementado por diversos museos y ferias de ciencias al momento de evaluar el éxito de sus actividades. El autor, sugiere que una buena evaluación de la comunicación de la ciencia requiere de una planificación de objetivos por parte de los practicantes, además, de la formación de los evaluadores en métodos actuales de investigación social.

En nuestro país, la FECYT (2018) publicó una guía básica para la evaluación de proyectos de cultura científica, principalmente orientada a la evaluación de los proyectos financiados dentro de su propia convocatoria, pero que constituye una serie de recursos que permiten definir la estrategia de evaluación, el diseño de los planes de evaluación y la propuesta de instrumentos para la consecución de este objetivo.

En este contexto cabe resaltar la evaluación de la divulgación científica centrada en la percepción del público, como la llevada a cabo por la FECYT para medir la percepción pública de la ciencia, donde se recopilan los formatos y contenidos más consumidos por la sociedad. La encuesta “Encuesta de Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología en España”, realizada desde 2002 cada dos años profundiza en el conocimiento de las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad; y en analizar la percepción de la ciudadanía sobre los avances científicos y tecnológicos, y sobre la capacidad de éstos para la mejora de la calidad de vida de la población (FECYT, 2002-2022).

Del informe de la encuesta de 2018, se desprende que los ciudadanos privilegian aspectos relacionados con la seguridad y el avance de los aspectos materiales de la sociedad respecto a cuestiones como la autoexpresión o el refuerzo de los vínculos comunitarios.

En la educación formal la evaluación se lleva a cabo utilizando herramientas y criterios de evaluación centrados en medir los aspectos del aprendizaje más fácilmente cuantificables, pero no permite medir fácilmente la adquisición de pensamiento crítico. Además, en el caso de la divulgación, al desarrollarse en el contexto de la educación no formal y no siendo, por tanto, una actividad voluntaria, resulta todavía más complejo, por ello creemos que es necesario seguir investigando sobre cómo evaluar el aprendizaje de los públicos, estableciendo como punto de partida, la evaluación y opinión de los divulgadores. Otros enfoques de tipo práctico evalúan un tercer aspecto que abarca los diferentes objetivos perseguidos, es decir, las finalidades por las que se lleva a cabo la divulgación científica y por otro, las maneras en las que se realiza.

Por ejemplo, existen también diferentes modelos para la evaluación del impacto social, con bastantes diferencias entre ellos, aunque todos coinciden en la necesidad de realizar una evaluación al final de la actividad. Sin embargo, tal como menciona un documento para la evaluación de actividades no formales en educación en ciencias de la National Science Foundation, realizar una evaluación rigurosa en este tipo de actividades es muchas veces complejo (Friedman, 2008), sobre todo en aquellas muy

acotadas temporalmente, con alta rotación y pocas posibilidades de seguimiento de los participantes.

Esta entidad propone cinco categorías para la evaluación de proyectos no formales e informales en educación en ciencias, para una mejora en la comprensión o en las actitudes hacia cuestiones relacionadas con la ciencia y la tecnología. A continuación, se presentan los aspectos evaluables en cada categoría (Dierking, 2008):

1. Conocimiento y/o comprensión de conceptos o procesos: evaluación de la mejora en el conocimiento o la comprensión de un concepto o fenómeno científico.
2. Interés: evaluación del cambio o mejora del interés en conceptos y actividades científicas.
3. Actitudes: evaluación del cambio o mejora en las actitudes (o en la percepción de las capacidades relativas) hacia los conceptos o fenómenos científicos.
4. Comportamientos resultantes de la experiencia: evaluación del cambio o mejora en los comportamientos hacia tópicos científicos.
5. Habilidades basadas o resultantes de la experiencia: estos son aspectos procedimentales del conocimiento. Habilidades típicamente observables que incluyen habilidades de investigación científica (observación, clasificación, exploración, cuestionamiento, predicción o experimentación), así como habilidades muy específicas relacionadas al uso de instrumentos y dispositivos científicos.

Sánchez-Mora y Macías-Nestor (2019), recogen en esta tabla una completa identificación de los componentes a tener en cuenta para evaluar la comunicación pública de la ciencia. En ella, se recopilan los ejes de los efectos y los públicos, los componentes a considerar y los objetivos derivados de las interacciones de los anteriores.



Figura 4.. Los componentes para evaluar en la comunicación pública de la ciencia. Extraído de Sánchez-Mora y Macías-Nestor (2019).

La divulgación científica también ha sido ampliamente evaluada en cuanto a su objetivo de fomento de vocaciones científicas. En esta línea, una publicación de la Fundación La Caixa, FECYT y Everis (2015) recoge los resultados de un estudio desarrollado con estudiantes de ESO del que se desprende que las acciones de divulgación científica aumentan casi un 6% el número de jóvenes interesados en estudiar ciencia o tecnología o que entre los alumnos con menor rendimiento académico es donde más aumenta el número de niños interesados en realizar estudios de ciencias, matemáticas, ingeniería y tecnología (STEM) tras las actividades de divulgación.

Los trabajos de investigación se han centrado principalmente en describir actividades y programas de comunicación como Ferias, talleres, Museos, etc. con el objetivo de analizar la experiencia (Barba, 2019) y no de evaluar formalmente a los ejecutores de la tarea divulgadora a pesar de que autores como Mosqueira (2005) y Reynoso Haynes (2008a) llevan años apuntando la necesidad de evaluar la comunicación de la ciencia en general y la de los divulgadores en particular (2008b). Mendoza (2019) reafirma la

estrategia propuesta por estos autores respecto a que los principales aspectos de la evaluación deberían realizarse entre compañeros divulgadores y por parte del público, tomando en consideración el contenido que se divulga, la manera de comunicar el mensaje y la idoneidad del medio utilizado.

Teniendo en cuenta todo lo anterior y según nuestro criterio, la evaluación de los divulgadores científicos debería considerar, al menos, los siguientes parámetros:

- Su conocimiento sobre la materia a divulgar/comunicar
- Sus habilidades didácticas para la adaptación de los contenidos a las características de la audiencia.
- Las características observables sobre su desenvolvimiento o interacción con los destinatarios.
- Y la influencia que tuvo respecto a la adquisición de algún conocimiento, habilidad o motivación en el público destinatario.

Además, serían indispensables aspectos como la inclusividad y atención a la diversidad, así como su habilidad para enganchar a la audiencia y entretenerla.

Por otra parte, la tarea divulgadora debería contemplar la evaluación de otra serie de parámetros de carácter más técnico, relacionados con la metodología, la gestión y la planificación, como la innovación, la inclusividad, la sostenibilidad y la difusión de la actividad. Y en todo caso esta evaluación debe estar orientada a la consecución de los objetivos previamente establecidos para dicha acción.

Cabe igualmente considerar que, como hemos comentado con anterioridad, dado que la divulgación científica, no solo se ha ido nutriendo de las ciencias de la educación, sino también de la psicología, las humanidades e incluso de la educación artística, se vuelve necesario que los métodos empleados contemplen estrategias y procesos de evaluación transversales.

Desde nuestro estudio consideramos que la evaluación de la tarea divulgativa es necesaria ya que ayuda a implementar mejoras basadas en la experiencia y la evidencia, y a pesar de que la evaluación es compleja y todavía no hay consenso sobre los parámetros más adecuados a tener en cuenta, sí que consideramos oportuna la

evaluación de divulgador y contenido, así como de otros parámetros concretos en función de los objetivos definidos para cada acción específica, de forma que nos permita evaluar también el aprendizaje de los destinatarios de la acción divulgadora (o al menos, la consecución de los objetivos marcados si estos no son exclusivamente educativos). Además, puesto que la divulgación de la ciencia se ha estudiado dentro del contexto de la educación y la didáctica de las ciencias experimentales y también desde el periodismo y la comunicación, estando el propio conocimiento científico entre estos dos pilares que constituyen su construcción; parece apropiada una formación en comunicación y en educación para la correcta ejecución de la práctica divulgadora (Navarro y Merino, 2021).

A través de esta tesis esperamos aportar algo a la comprensión de los factores que intervienen en la divulgación realizada por personas de formación científica, teniendo en cuenta sus competencias y analizar las dificultades que encuentran en el desarrollo de la labor divulgadora, contribuyendo de esta forma a la formación de divulgadores y a la evaluación de la labor divulgadora.

2.1.2. Perfiles y competencias para la divulgación de la ciencia

La tarea divulgadora general, contempla una gran variedad de prácticas realizadas a través de diferentes canales y en las que intervienen diversos perfiles de divulgadores, por ejemplo, docentes, periodistas, gestores culturales o científicos e investigadores, todos ellos con diferentes intereses o inquietudes, pero con el mismo objetivo final: acercar el conocimiento a la ciudadanía. En la última Encuesta de Percepción Pública de la Ciencia (FECYT, 2022), se preguntaba a la sociedad sobre cuáles son las organizaciones o personas que se consideran más adecuadas para explicar el impacto de los avances científicos y tecnológicos en la sociedad. Una gran mayoría considera que deben ser las Universidades y centros públicos de investigación. A mucha distancia, en un segundo nivel, se sitúan los Centros e institutos de investigación privados y en posiciones sucesivas Divulgadores científicos y Museos de ciencia y que entre las personas y organizaciones menos adecuadas se encuentran los periodistas.

Por ello creemos oportuno, realizar una revisión de estos perfiles como punto de partida para hacer frente al desafío de mejorar la capacitación de estos en divulgación y educación científica, beneficiando por tanto este desarrollo profesional no solo a los ejecutores, sino a los receptores de la divulgación científica.

Perfiles para la divulgación

Investigadores y científicos

En la diseminación de la ciencia intervienen múltiples agentes, aunque los científicos tienen cada vez más responsabilidad al respecto. El perfil del personal investigador que participa en acciones de comunicación de la I+D+i en las universidades españolas, concretamente desde los gabinetes de comunicación institucional y las Unidades de Cultura Científica y de la Innovación (UCC+i) es el de hombre, personal docente e investigador funcionario, participante en actividades de divulgación y sus principales motivaciones para participar en estas acciones son la de informar sobre investigaciones financiadas con fondos públicos y conseguir mayor apoyo social hacia la investigación (Alonso Flores, 2022).

El perfil de este colectivo aspira en la mayoría de los casos a dedicarse a la investigación, y aunque todavía no se ha consolidado en el mundo científico la necesidad de aprender a transmitir sus hallazgos, (Bik y Goldstein, 2013; Gaytán Guía, 2016) existe una necesidad de potenciar la sensibilización de la repercusión que tiene una adecuada transferencia del conocimiento, potenciando para ello la necesidad de incluir en la formación del alumnado de carreras científicas, estrategias de comunicación (Gaytán 2016).

Estudiante de carreras científico-técnicas

Se trata de estudiantes de carreras científico-técnicas que llevan a cabo actividades de divulgación científica de forma compaginada con sus estudios. De esta forma adquieren habilidades y experiencia en divulgación científica a través de la práctica. Se trata de un perfil que muestra especial sensibilización hacia la importancia social de la comunicación de la ciencia y cuyo interés en adquirir habilidades para transmitir los avances científicos a la sociedad aumenta paulatinamente (García, Maestre y Gaytán, 2017).

Mediador (científico)

En el contexto de los museos de ciencia, nos encontramos con otro perfil que constituye personal de apoyo del museo. Según el museo en el que trabajen reciben distintas denominaciones, también en función de la actividad que desarrollen en el museo. El personal de apoyo puede llevar a cabo demostraciones, visitas guiadas y además están a disposición del visitante bien para animarlos a interactuar o bien para responder posibles preguntas o dudas. Las denominaciones son diferentes según el museo al que pertenezcan, no hay un consenso común, pero entre las denominaciones más frecuentes están animadores, intérpretes, auxiliares, guías y monitores. En el Exploratorium de San Francisco (EEUU) y también en algunos museos de España se les denomina "*explainers*" (Smandia, 2020). En la Ciudad de las Artes y de las Ciencias de Valencia se les denomina animadores científicos, terminología adecuada al añadir la

palabra científicos para diferenciarlos de otros profesionales de la enseñanza formal, siendo alumnos de Bachillerato que ejercen como voluntarios.

Respecto a la evaluación de este perfil encontramos estudios como el de Aguilera Jiménez (2017), donde los estudiantes que se consideran mejores estudiantes (basado en que obtienen las calificaciones más altas en sus carreras), no son necesariamente los mejores cuando realizan labores de mediación. Los que suelen tener más aceptación en el público son los que destacan por características como la vocación de servicio, la empatía y las habilidades comunicativas. Sin embargo, también es indispensable que tengan una buena cultura científica ya que estos autores también observaron que los mediadores con una formación académica menos sólida tergiversan conceptos o transmiten ideas equivocadas. Se trata de resultados interesantes que deberían ser tenidos en cuenta en el diseño de formaciones de capacitación para estos perfiles.

Docentes (maestros y profesores)

La justificación para que los profesores de ciencias sean también divulgadores científicos se encuentra a través del análisis de las escalas temporales definidas por Vergnaud (citado por Moreira (2002)), ya que el docente trabaja en un primer tiempo de la relación didáctica provocando el aprendizaje de conceptos discutidos a través del papel del docente que ha iniciado el proceso de psicogénesis del conocimiento que puede extenderse por años (“larga escala temporal”).

Los docentes utilizan materiales y metodologías desarrolladas por divulgadores dentro del aula, formando parte del sistema de la divulgación científica, integrándolos dentro del currículo académico o como complemento de este. Se trata de un perfil que es a la vez receptor y ejecutor de la divulgación científica.

Damasio et al. (2013) estudiaron la formación en divulgación de futuros docentes de física a través de la realización de actividades de divulgación en la educación no formal basándose en la Teoría del Aprendizaje Significativo, es decir, buscando lograr una predisposición para aprender y producir material potencialmente significativo que son las condiciones necesarias para que se produzca un aprendizaje significativo.

Otros estudios abordan las sinergias entre docentes y científicos en la labor divulgadora (Watanabe y Kawamura, 2016) y arrojan reflexiones interesantes como las preocupaciones de futuros docentes sobre el papel formativo de la divulgación científica realizada por científicos, que aunque están principalmente relacionadas con el conocimiento científico, muestran elementos de naturaleza de la ciencia como imprescindibles para la comprensión de la ciencia como herramienta de poder y desigualdad social (Tilly, 2006).

Esta complementariedad, es decir, la divulgación producida por científicos que contempla aspectos educativos orientados hacia el pensamiento y acción crítica podría llegar a complementar, incluso sin pretenderlo, el espacio formal de educación (Trilla, 2008).

Periodista o comunicador científico

El perfil del periodista científico ha sido estudiado principalmente desde la perspectiva de la formación recibida por parte de estos (Bauer et al., 2013) de donde se desprende que la mayoría de los periodistas científicos en España no solo no tiene formación en ciencias, sino que no la considera necesaria ya que consideran que la mejor forma de aprender es trabajar en los medios, más que estudiar, mostrándose, por tanto, críticos con el sistema educativo (Cassany et al., 2018).

La conveniencia del perfil exclusivamente comunicador de los periodistas, ha sido puesto en duda, precisamente por no tener suficiente formación científica (Meneses-Fernández y Martín-Gutiérrez, 2015) recogiendo una intervención del divulgador científico Neil DeGrasse en un programa de la CNN en 2014 y porque el trabajo del periodista científico no siempre es aplaudido por la comunidad científica, que a menudo ve en la traducción periodística de sus investigaciones imperfecciones o simplificaciones, a veces con toques sensacionalistas (Lynch et al., 2014; Rosen et al., 2016).

Este solo es un ejemplo de las no siempre buenas relaciones entre científicos y periodistas, ampliamente estudiadas por autores como Bauer et al. (2013), Lynch et al. (2014), Meneses-Fernández y Martín-Gutiérrez (2015) y Peters (2013).

Los mismos periodistas científicos consideran que el perfil más idóneo en este campo es el del periodista formado en comunicación que ha recibido una formación posterior en ciencias, sin embargo, la gran mayoría no responde a ese perfil (Cassany et al., 2018), de hecho perciben cambio en sus identidades y responsabilidades profesionales, percibiéndose a sí mismos como “animadores” de la ciencia, en contraste con los investigadores críticos encargados de hacer que la ciencia y los científicos rindan cuentas, operando en un mundo de corporaciones bien dotadas para la comunicación científica (Franks et al., 2022). Si atendemos a la divulgación científica en medios masivos como la televisión, podemos observar que aparecen tanto científicos divulgadores como periodistas científicos, lo cual nos permite concluir que no es imprescindible ser científico para hacer divulgación científica. Independientemente de la formación original de estos profesionales, podemos afirmar que la labor divulgativa está intrínsecamente relacionada con las habilidades y competencias comunicativas (Grosso Mesa, 2017).

Una terminología que englobaría todas las anteriores sería divulgadores científicos y que podría ser estandarizada para fomentar y asentar la profesión de educador científico dentro de la educación no formal pero si nos enfocamos en la divulgación científica de carácter presencial, entendemos que existe una figura intermedia entre el docente de ciencias de la educación formal y el divulgador científico de contextos de educación no formal, con el que pretendemos destacar la dimensión didáctica dentro del perfil de divulgadores científicos y que podríamos denominar “educador científico”.

El Educador científico

El educador científico no forma parte del equipo docente, pero suelen intervenir también puntualmente en el aula realizando la transposición de contenidos científicos

que pueden o no estar incluidos en el currículo académico o ser complementarios a este. Igualmente puede encargarse no solo de la ejecución, sino de la formación de docentes si son ellos los que van a realizar esta labor. También puede encargarse de la formación de investigadores y profesionales técnicos para realizar la divulgación de los contenidos relacionados con sus investigaciones, y en todo caso, se encarga de la ejecución de proyectos de divulgación de la ciencia en eventos presenciales, como por ejemplo: la Semana de la Ciencia, el Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia, el Día de la Nanociencia o la Noche Europea de los Investigadores.

Se trata, por tanto, de un perfil que tiene características en común con los perfiles descritos anteriormente pero también presenta algunas singularidades que lo diferencian.

Los aspectos que diferencian al educador científico del resto de perfiles son:

- Ha recibido formación en divulgación científica
- Tiene experiencia de más de dos años
- Realiza tareas de formación a investigadores, docentes y periodistas

Con respecto a los maestros, es que tiene formación científica de base y desarrolla su labor en el ámbito de la educación no formal.

Con respecto a los profesores, es que tiene experiencia en comunicación y divulgación de la ciencia y que desarrolla su labor en el ámbito de la educación no formal.

Con respecto a los periodistas, es que ejerce su labor en medios presenciales, aunque a veces también sean masivos (eventos de divulgación) y que tiene formación científica de base.

Con respecto a los mediadores, evidentemente que realizan actividades más allá del espacio museo y con respecto a los científicos e investigadores, que tienen competencias didácticas.

A continuación, presentamos una tabla en la que diferenciamos los perfiles en función de su ámbito de actuación:

Tabla 3. Perfiles encargados de la divulgación científica (elaboración propia).

PERFILES	CONTEXTO	MEDIO	MODELO PREFERENTE	COMPETENCIAS	PÚBLICO
INVESTIGADOR	Educación no formal	Presencial/virtual	Unidireccional/Bidireccional	Científica y didáctica	Especializado/general
ESTUDIANTE DE CIENCIAS	Educación no formal	Presencial/virtual	Unidireccional/Bidireccional	Científica y didáctica	Especializado/general
DOCENTE	Educación formal	Presencial	Unidireccional	Didáctica y científica	Primaria, secundaria, bachillerato, universidad
MEDIADOR	Educación no formal	Presencial	Multidireccional	Didáctica, social y científica	General y familiar
PERIODISTA O COMUNICADOR	Educación no formal	Virtual	Unidireccional/Bidireccional	Comunicativa, mediática y científica	Especializado/general
EDUCADOR CIENTÍFICO	Educación no formal	Presencial	Multidireccional	Científica, didáctica, comunicativa y social	Primaria, secundaria, bachillerato, general, familiar, docentes e investigadores

Competencias del educador científico

El abordaje de la tarea divulgadora contempla, por tanto, una serie de competencias necesarias para el desarrollo de esta y para la consecución de sus objetivos. No se trata simplemente de informar sobre los avances y conocimientos científicos procedentes de dónde se desarrolla la investigación, sino que debe basarse en planteamientos democráticos y tener una dimensión social, de forma que la sociedad conozca como afecta la ciencia y la tecnología a sus vidas, que consecuencias y riesgos tiene y cuáles son los beneficios de sus aplicaciones (Hernández et al., 2012).

La misión del divulgador científico trasciende, por tanto, la mera transmisión de información y puede verse más bien como una labor multidimensional para la formación de una cultura científica y debe de cumplir, según Reynoso Haynes (2008) con, al menos, las siguientes características:

- 1) poseer una cultura científica
- 2) manejar algún medio de comunicación, y,
- 3) ser capaz de adaptar el discurso científico en función del público receptor del mensaje.

En las últimas décadas también ha irrumpido con fuerza la utilización de aplicaciones y redes sociales (RRSS) como herramienta para la divulgación de la ciencia, algunos de ellos en canales de comunicación científica en ciernes, que a pesar de ello apuntan a convertirse en vehículos eficientes para captar la atención de público joven hacia contenidos científicos (Alonso y Ortiz, 2022). No obstante, algunos estudios muestran que, a pesar de que estos canales pueden ser necesarios para la práctica divulgadora, no son suficientes (López Alonso y Santillán-García, 2019) y en algunas ocasiones, como el caso de Youtube, algunos docentes de Educación superior no valoran los contenidos como rigurosos (Vizcaíno-Verdú et al., 2020). Por otra parte, consideramos que, además de las características establecidas por Reynoso (2008), existe una característica del educador científico no contemplada anteriormente que debemos tener en cuenta: la dimensión didáctica, es decir, una serie de competencias vinculadas con la práctica docente, partiendo de las ideas previas y de las dificultades de aprendizaje detectadas.

- Competencias didácticas

Si consideramos a los divulgadores como promotores del aprendizaje y labor científica, existen, por tanto, puntos de encuentro entre las aptitudes y habilidades esperadas entre profesores y divulgaciones, especialmente tras los cambios de paradigma y estereotipos que trasladan la labor docente de la mera transmisión de información hasta la de mediación del conocimiento, haciendo más próximos todavía los propósitos e intereses entre docente y divulgador.

El enfoque didáctico, la congruencia didáctica y la promoción de la cultura científica son competencias pedagógicas y didácticas relacionadas con el uso de técnicas, materiales y herramientas educativas que se utilizan en la práctica divulgadora de forma consciente o inconsciente, pero que de manera empírica consiguen interesar al

público destinatario en el contenido científico como las herramientas pedagógicas que utilizan en Museos o actividades de educación ambiental por divulgadores científicos (Aguilera-Jiménez, 2007; Méndez-Santos et al., 2018; Pons, 2019) como por ejemplo analogías y ejemplos cotidianos con el objetivo de hacer el contenido más simple, así como materiales y recursos para que la dinámica sea entretenida y llamativa.

Como las herramientas y dinámicas varían en función del divulgador, el público puede disfrutarlos en más de una ocasión. No se trata, por tanto, de repetir un discurso preelaborado, ni de seguir unas instrucciones, si no de identificar unas actividades y herramientas que permitan al público interesarse y comprender el contenido conceptual de manera significativa. Teniendo en cuenta la teoría del aprendizaje significativo se caracteriza por la interacción entre conocimientos previos y conocimientos nuevos y que esa interacción es no literal y no arbitraria. En ese proceso, los nuevos conocimientos adquieren significado para el sujeto y los conocimientos previos adquieren nuevos significados o mayor estabilidad cognitiva. (Moreira, 2012).

En el marco educativo, en la divulgación de la ciencia se incluye el Modelo Socio-Cultura de Vygotsky fundamentado en tres aspectos:

- 1) Zona de desarrollo real-conocimiento previo
- 2) Zona de desarrollo próximo-conocimiento nuevo
- 3) Zona de desarrollo potencial-evaluación de conocimiento (lo aprendido)

Según este planteamiento el proceso de desarrollo no coincide con el aprendizaje si no que sigue al aprendizaje, que crea el área de desarrollo potencial.

Según la teoría educativa de construcción de contenidos de Ausubel (2000), existen cuatro etapas:

- 1) Base previa
- 2) Interacción con el nuevo conocimiento
- 3) Relación con el nuevo conocimiento
- 4) Puesta en práctica.

Es decir que los individuos buscan en su propio conocimiento personal, en sus habilidades adquiridas y disposiciones, los recursos disponibles para ellos.

Benlloch (2002) mostraba la importancia de tener en cuenta las concepciones previas de los aprendices en la adquisición de conocimientos ya que los aprendices interpretan los fenómenos a partir de su marco de referencia (Ausubel, 2000) y que algunas ideas funcionan como verdaderos obstáculos para el aprendizaje, por lo que su conocimiento puede promover estrategias de enseñanza más eficaces (Bachelord, 1934). De hecho, estos obstáculos que se presentan en el ámbito escolar muestran la importancia de contemplar las dificultades en la construcción del conocimiento vinculado con la ciencia (Benlloch, 2002; Rojas-Caballero, 2017; Sánchez y Tagüeña, 2011).

- Competencia comunicativa

En cuanto a la competencia comunicativa, engloba como los conocimientos y habilidades necesarios para lograr una interacción eficiente, ya que tanto la difusión como la divulgación científica son actividades de comunicación, al identificar las dimensiones de la competencia comunicativa apuntan hacia el aspecto verbal y pragmático, pues tienen en cuenta el conocimiento de las estructuras lingüísticas, la adecuación de su uso a las exigencias del contexto, la estructuración coherente del discurso y el empleo de estrategias afectivas para iniciar, desarrollar y finalizar la comunicación.

De acuerdo con Tarango y Machin-Mastromatteo (2017), las necesidades de docentes, investigadores y profesionales de la información como gestores de la producción y comunicación científica, requieren de competencias informativas, lingüísticas, comunicativas y tecnológicas para contribuir al aprendizaje para generar y comunicar conocimiento científico eficientemente.

Las competencias informativas serían el conjunto de capacidades que permiten a las personas no solo reconocer cuándo necesitan información, sino saber buscarla, gestionarla, evaluarla y comunicarla de forma adecuada. Las competencias lingüísticas implican un conjunto de destrezas, conocimientos y actitudes que se interrelacionan y

se apoyan mutuamente para realizar una adecuada comunicación científica que puede destinarse a distintas comunidades o audiencias, de forma que puedan comprender y aplicar los conocimientos comunicados. Las competencias comunicativas comprenden el conjunto de habilidades y capacidades que posibilitan la participación apropiada en situaciones específicas de interacción, incluyendo la interpersonal (Aguirre-Raya, 2005). Y las competencias tecnológicas, también conocidas como competencias digitales o informáticas, son el conjunto de conocimientos, habilidades, disposiciones y conductas que permiten a los individuos usar las TIC.

En la Figura 5, se mencionan las competencias en producción y comunicación científica a la que hacen referencia los autores anteriores.

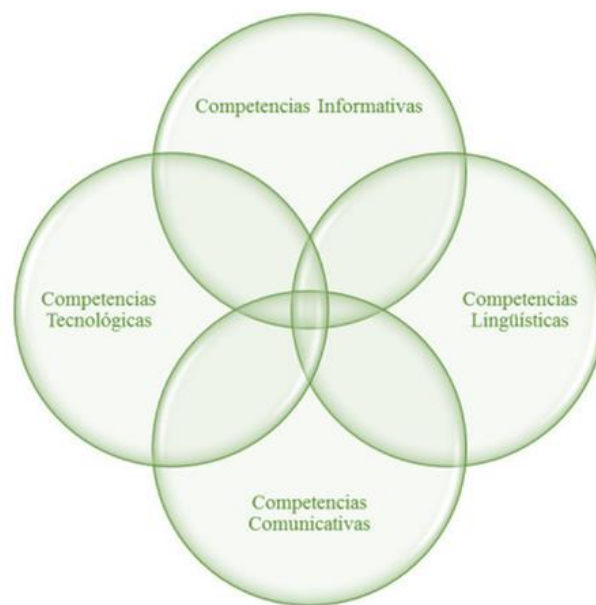


Figura 5. Competencias en producción y comunicación científica. Extraído de Tarango y Machin-Mastromatteo (2017).

Dado que el educador científico desarrolla principalmente la labor divulgadora en eventos presenciales y de carácter off-line, algunas de estas competencias como el manejo avanzado de los medios de comunicación y las redes sociales no se consideran prioritarias, aunque en ocasiones se utilizan como complemento de su labor, sobre todo durante la pandemia que conllevó una disminución de eventos presenciales y

masivos y un aumento de la utilización de las redes sociales para la divulgación (Navarro Zamora, 2021). En todo caso, los divulgadores de ciencia resaltan que son necesarias mayores competencias y que, según su punto de vista, la comunicación y la educación son los dos elementos fundamentales para la comunicación de la ciencia y que no existe una formación en competencias “educativas” de los divulgadores (Navarro Zamora, 2021).

- Competencia científica

Las competencias científicas comprenden aquel conjunto de conocimientos, destrezas y actitudes indispensables para que los individuos interpreten, usen y apropien los productos de la nanociencia y la nanotecnología, ya sea porque intervienen y participan en la toma de decisiones ciudadanas de carácter tecnológico y científico o porque deciden sobre qué productos consumir, inciden en las problemáticas sociales, ambientales y culturales de la sociedad y la falta de esta competencia hace que los ciudadanos estén menos capacitados para tomar decisiones del saber científico (Calzada y Marzal, 2013).

La competencia científica incluye tres pilares que se adquieren y desarrollan normalmente de manera teórico-práctica como son la contextualización, el rigor discursivo-conceptual y la argumentación científica. La contextualización en la educación formal y no formal puede ser identificada a través de los procesos de trasposición didáctica y adecuación cuyo objetivo es adaptar el contenido que se pretende transmitir a la sociedad que lo recibe (Chevallard, 2000; Lewenstein, 2006). Aunque estos procesos se pueden desarrollar de manera intuitiva en la práctica, autoras como García, Maestre y Gaytán (2017) han investigado sobre el potencial que tiene que estudiantes de carreras científicas cuenten con herramientas pedagógicas y didácticas que orienten su perfil laboral hacia esa dirección.

El rigor discursivo-conceptual y la argumentación científica tienen el objetivo de que los divulgadores comprendan los procesos que son parte de la ciencia que divulgan (Daza et al., 2016; Pons, 2019). Lo anterior, considerando que el dominio del tema no solo depende de la trayectoria profesional, ya que contar con otro perfil ajeno a las ciencias no es un limitante, e incluso autores como Méndez et. al (2018) y Pons (2019)

reconocen que no les parece importante que los educadores estén titulados en alguna profesión, pues si se cuenta con la disposición para investigar el tema que se divulga, se puede lograr una divulgación igual de exitosa que con especialistas en el tema.

Por otra parte, y al igual que ocurre con los periodistas científicos, aunque con el paso del tiempo estos van incorporando una serie de conocimientos generales a cerca de todas las disciplinas, nunca será posible que logren conocer absolutamente todos los conocimientos de todos los campos del saber (Cortassa, 2012).

- Competencia social y actitudes

Las competencias sociales contemplarían las habilidades, actitudes y aspectos socioemocionales necesarios en la formación de cualquier profesional que interactúa con la multiculturalidad y que tienen el objetivo de mejorar la relación y la comunicación con el público fomentando la interactividad y participación, así como la inclusión y la atención a la diversidad.

A este respecto nos referimos a actitudes en tres direcciones:

- Hacia el contenido a divulgar
- Hacia la propia labor divulgadora
- Hacia el público destinatario

La primera contempla los propios sesgos que el divulgador tiene hacia un tema concreto, así como las relacionadas con los códigos éticos y deontológicos.

Las actitudes hacia la labor divulgadora también están influenciadas por el contexto y la sociedad ya que durante mucho tiempo no se ha tratado de una actividad valorada, por un lado, económicamente, aunque sí socialmente, a pesar de que entre colegas podía ser vista como una inversión de esfuerzos y tiempo en detrimento de la propia actividad investigadora o incluso una actividad propia de las personas menos “aptas” para la investigación. Aunque existen estudios sobre el perfil de los divulgadores, estos se centran en la divulgación en medios de comunicación (Cassany et al., 2018), medios digitales, como redes sociales y concretamente en Youtube (González et al., 2020; Oliveira dos Santos et al., 2022; Zaragoza y Marín, 2020; Velho y Barata, 2020) pero no se han encontrado estudios sobre el perfil de divulgadores en eventos presenciales u

off-line, en los que la mayoría de las divulgadoras son mujeres, a pesar de que los divulgadores de renombre son hombres (Mestres et al., 2012). En todo caso, se señala la necesidad de desarrollar procesos de capacitación que ofrezcan al personal académico las habilidades y capacidades necesarias para poder realizar adecuadamente actividades de comunicación científica en diversos contextos, que además contribuyan al fortalecimiento de sus relaciones vinculares con los periodistas, con el objetivo de mejorar el progreso del conocimiento científico y la comunicación de la ciencia (Castillo Vargas, 2015).

Por último, hablaríamos de la percepción sobre la divulgación y los divulgadores que tiene la sociedad y de cómo esta la valora. Algunos estudios muestran que la percepción social de la divulgación ha mejorado en los últimos años (FECYT, 2022).

En resumen, los educadores no solo deben conocer en profundidad el tema a divulgar sino poseer y desarrollar habilidades y actitudes que les permitan orientar su práctica de forma integral, fomentando la construcción de una cultura científica en los destinatarios.

Enfocándonos en esta figura, las competencias del educador científico serían las siguientes:

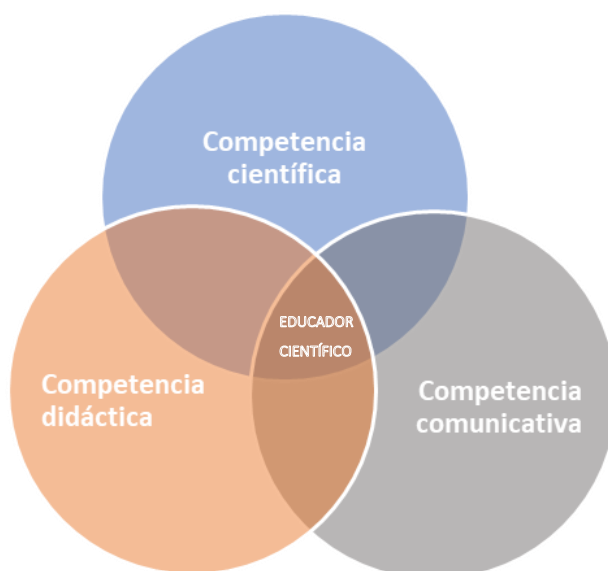


Figura 6. Interrelación entre las competencias del educador científico para la divulgación en educación no formal (elaboración propia).

Lo expuesto anteriormente nos lleva a plantearnos interrogantes sobre las necesidades formativas de los educadores científicos de cara a la profesionalización de la divulgación científica (Alcibar, 2015) aunque en los últimos años se ha producido una creciente relevancia en la integración de la enseñanza de la divulgación en las carreras científicas a través de la creación de numerosas oportunidades de aprendizaje por parte de fundaciones y organizaciones gubernamentales, que buscan mejorar la capacidad de divulgadores y comunicadores científicos ya graduados. Las instituciones han promovido la profesionalización de la divulgación a través de nuevas ofertas laborales vinculadas con la divulgación y comunicación de la ciencia y que necesitan, por tanto, una cualificación determinada en este campo (Davies y Horst, 2016; Trench, 2017).

Entre las estrategias utilizadas y dependiendo de la especialidad de partida, se utilizan asignaturas curriculares de ciencias (especialmente sobre el método científico) en las carreras de letras, asignaturas curriculares de redacción y de comunicación en las carreras de ciencias, materias optativas de periodismo científico y másteres o postgrados de especialización tanto para científicos como comunicadores, con el objetivo de formar perfiles híbridos con las competencias requeridas (Cassany et al, (2018).

A este respecto, y más allá de la formación reglada, cabe resaltar por otra parte, la importancia de la experiencia, ya que la divulgación científica en formatos presenciales es algo que se aprende y mejora con la práctica (Blanco, 2004).

Sobre la necesidad de formar a científicos estudiantes en divulgación, algunos autores como García, Maestre y Gaytán (2017) estudiaron la sensibilización de los estudiantes de ciencias por la importancia social de la comunicación de la ciencia y concluyeron que el interés en adquirir habilidades para transmitir los avances científicos a la sociedad aumentaba paulatinamente, siendo necesaria para este fin la introducción de cambios curriculares que permitan enriquecer los procesos de aprendizaje, concienciando sobre la trascendencia del perfil divulgador en el futuro laboral del alumnado y reforzando estrategias y actividades para mejorar sus competencias

comunicativas y en resumen, el diseño de programas que faciliten y promuevan un desempeño riguroso del perfil divulgador.

Pero no olvidemos, que en ocasiones, estos divulgadores provienen ya del ámbito educativo y aunque se proponen reflexiones para tratar en el ámbito de las acciones de los científicos, con el objetivo de promover acciones prácticas que expliciten el carácter de la divulgación como actividad comprometida con el debate ético de la investigación y los procesos de construcción del conocimiento, para pensar en objetivos y formas posibles de empleo de actividades divulgativas para la adquisición de la cultura científica, el fomento de reflexiones de los profesores actuales y futuros sobre su papel en este proceso, los apoyaría en el reconocimiento de la relevancia del conocimiento específico de la ciencia a la vez que ayuda a estos educadores en la elaboración de prácticas que permitan el reconocimiento de la divulgación científica y aproximación a los científicos como oportunidades de promover el debate crítico y hacer posible la adquisición de cultura científica para sus estudiantes.

Esta complementariedad, es decir, la divulgación producida por científicos que contempla aspectos educativos orientados hacia el pensamiento y acción crítica podría llegar a complementar, incluso sin pretenderlo, el espacio formal de educación (Trilla, 2008).

Una vez revisados los aspectos generales sobre la divulgación en ciencia y tecnología, nos enfocamos en los relacionados con la difusión del tema concreto de estudio; la Nanociencia.

Para ello comenzaremos definiendo en qué consiste la Nanociencia y cuáles son sus aplicaciones, así como la descripción de los conceptos clave para la divulgación de esta. A continuación, revisaremos el estado del arte en cuanto a la divulgación de la Nanociencia en la actualidad.

CAPÍTULO 2.2: APLICACIONES, DIVULGACIÓN Y DIFICULTADES DE LA NANOCIENCIA EN LA EDUCACIÓN NO FORMAL

Capítulo 2.2.1. La Nanociencia

Historia y definición de la Nanociencia

El origen y uso de partículas o materiales nanométricos data desde la antigüedad, como por ejemplo las técnicas de orfebrería, cristalería y diseños de vitrales, como el lustre, que constituye una técnica representativa del uso de nanomateriales utilizada para la fabricación de cerámicas esmaltadas con colores metálicos gracias al uso de nanopartículas de metales como el oro, el estaño o la plata. De la misma forma según Gamo-Aranda y Tutor-Sánchez (2015) culturas como la maya y azteca, ya realizaban nanomaterial cerámico mediante la mezcla de dos nanopartículas de material orgánico y no orgánico que, gracias al paso por las técnicas cerámicas, utilizando elevadas temperaturas, lograban pigmentos como el azul maya con alta adherencia, resistentes al tiempo y adversidades climáticas. Hacia el año 2006 se publicó un artículo en la revista Nature, en el que se revelaba a través de estudios de microscopía la existencia de nanotubos de carbono ocluidos en la matriz metálica del acero en algunos ejemplares de espadas de Damasco (acero de Damasco data del año 330 A.C.) (Reibold et al., 2006). Como se ha puesto de manifiesto con los anteriores ejemplos existía un trabajo con nanomateriales mucho antes de tener consciencia de la existencia de esta rama de la ciencia, es decir que, los maestros artesanos del pasado eran nano tecnólogos sin saberlo, y conseguían estas propiedades en los materiales gracias a la experiencia acumulada a través de prácticas de prueba-error (Serena et al., 2014).

Aunque la nanotecnología ha existido desde la antigüedad y de forma más extensa podemos considerar que como toda ciencia forma parte intrínseca de la naturaleza, se puede datar el inicio de la Nanociencia, en 1959, cuando el premio Nobel de Física norteamericano Richard Feynman dio una charla titulada "*There is plenty of room at the bottom*" (Feynman, 1960). En ella explicaban distintas ideas revolucionarias sobre lo que se podría llegar a realizar si se alcanzaba el control de las estructuras a nivel de los átomos.

Feynman ya hablaba de la aproximación "*top-down*", que consiste en comenzar el estudio de un material desde lo macroscópico aproximándonos hasta lo más pequeño.

Cincuenta años después, aunque la nanotecnología sigue utilizando la aproximación “*top-down*”, ha evolucionado hacia el diseño de estructuras desde los átomos hasta lo macroscópico, lo que se denomina aproximación “*bottom-up*”. Feynman (1960) decía: “no me cabe ninguna duda de que si conseguimos controlar la deposición atómica de los materiales se ampliarán enormemente las propiedades de los materiales y las cosas que con ellos podemos hacer”.

El concepto nanotecnología, como tal, fue acuñado por el japonés Norio Taniguchi, quien decía que la Nanotecnología consiste principalmente en el proceso de separación, consolidación, y deformación de materiales por un átomo o una molécula.

La investigación se aceleró vertiginosamente a partir de la aparición del Microscopio de Efecto Túnel en 1981, desarrollado por H. Rorher y G. Binning (premios Nobel en 1986). A ello, se unió la mejora de los microscopios electrónicos, y la invención de nuevos microscopios con resolución nanométrica, relacionados con el microscopio de efecto túnel.

En 1986 E. Drexler extendió la idea de, no sólo estudiar la materia pequeña, sino de usarla en nuestro favor para crear, por ejemplo, nanomáquinas (Drexler, 2002).

En 2007 nació el Instituto de Nanociencia de Aragón de la Universidad de Zaragoza y en 2009 se creó el primer grado de Nanociencia y Nanotecnología en España en la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB).

Conceptos clave para la divulgación de la Nanociencia

La Nanociencia y la Nanotecnología son los campos de la ciencia y la técnica que se dedican a estudiar, diseñar, obtener y/o manipular de manera controlada materiales, sustancias y dispositivos de dimensiones inferiores al micrómetro (10^{-6} m) y próximas al nanómetro (10^{-9} m). Un nanómetro es una millonésima parte de un milímetro. Para comprender esta definición, lo primero que debemos recordar es que la materia está formada por átomos. Los átomos son partículas minúsculas. Incluso en un objeto muy pequeño, que apenas podamos ver a simple vista, hay muchísimos miles de millones de átomos. Para formar los objetos grandes, las enormes cantidades de átomos se

unen, formando estructuras normalmente repetitivas y ordenadas. Las distancias entre esos átomos son de un tamaño en torno al nanómetro.

Nanopartícula

Las nanopartículas son partículas con un diámetro inferior de 100 nm. En comparación con las partículas del mismo material, pero de un tamaño mayor, presentan nuevas propiedades, lo que se aprovecha para las diferentes aplicaciones nanotecnológicas. Una nanopartícula, del diámetro de 50 nm puede contener unos 15 millones de átomos individuales (Christoph y Muñoz, 2015).

Según Alonso, López et al., (2015) para considerarse nanopartículas deben cumplir tres condiciones:

- Que su tamaño este comprendido al menos en una dimensión entre 1 y 100 nm
- Que las propiedades de los materiales cambien en este rango.
- Y, por último, que exista un control y entendimiento de lo que se está fabricando.

Uno de los objetivos centrales de la Nanociencia es construir pequeñas estructuras para el diseño de materiales avanzados, nano dispositivos de alto rendimiento y miniaturización de dispositivos electrónicos. Las nanopartículas inorgánicas son particularmente atractivas como piezas de construcción para tales propósitos, debido a sus propiedades ópticas, electrónicas, magnéticas y catalíticas únicas (Zanella, 2014).

Nanómetro

Un nanómetro es una medida de longitud equivalente a la mil millonésima parte de un metro (10^{-9} metros). Para comprender el potencial de esta tecnología es clave saber que las propiedades físicas y químicas de la materia cambian a escala nanométrica, lo cual se debe a efectos cuánticos (Serena et al., 2014). La conductividad eléctrica, el calor, la resistencia, la elasticidad o la reactividad, entre otras propiedades, se comporta de manera diferente para la misma sustancia en tamaños mayores de partículas.

Para abarcar el concepto de nanómetro en el contexto educativo, concretamente para niños de primaria, es posible emplear analogías comparativas y ejemplos sencillos por

medio de los cuales es posible transmitir esta noción de una manera más asequible (Galagovsky y Bravo, 2001).

Una opción podría ser utilizar el tamaño del cabello humano. El diámetro de un cabello humano varía entre 15 micrones y 170 micrones, siendo entre 60 y 110 micrones el diámetro de la raíz en el cuero cabelludo.

A nivel práctico, el docente puede pedir al estudiante que tome y observe un cabello de su cabeza, pidiéndole que divida el diámetro del cabello humano en cien mil partes (100.000). Cada una de estas partes pertenece a la escala de los nanómetros (Gispert, Puntos y Gonzalez, 2020).

Un ejemplo clásico para visualizar el tamaño de un nanómetro consiste en la observación y comparación de la estructura atómica de superficie de grafito (HOPG), medida con microscopía de efecto túnel. La relación de tamaño entre 1 nanómetro y el diámetro de una naranja, es comparable con esta y el diámetro de la tierra (Christoph y Muñoz, 2015).

Escala nanométrica

Otro de los conceptos a explicar antes de entrar a fondo con los términos de la Nanociencia, es el de las escalas (macro, micro y nano). Como actividad adicional, los docentes pueden proponer ejercicios mentales en donde los estudiantes se sitúen en la escala métrica para visualizar y vivenciar reducciones y ampliaciones, obteniendo un referente que ayude a evitar las confusiones resultantes (Rubiano, 2013), pudiéndose utilizar herramientas como cuentos con ilustraciones llamativas (Jaime Lahoz, 2021). Además, para superar la barrera de la nanoescala se debe profundizar en el conocimiento de las relaciones de tamaños existentes entre objetos familiares y cercanos, extrapolando de manera progresiva estas relaciones hacia tamaños que son menos habituales, como los del micro y nanomundo (Serena et al., 2014).

Una estrategia para enseñar la nanoescala consiste en la utilización de una regla que exprese sus métricas en nanómetros, donde se introduce al aprendiz a despertar una intuición de lo pequeño a lo grande. De esta forma se facilita la comprensión teórica a través de la experimentación, pidiendo a los aprendices la medición de objetos de uso cotidiano en nanómetros (Rodríguez y Ávila, 2011).

Propiedades en la nanoescala

Las aplicaciones de la Nanociencia se basan en que el comportamiento de un material formado por unos pocos átomos o moléculas, estructurados a nivel nanométrico, puede ser totalmente distinto que el de uno formado por mayores cantidades, es decir, que

lo que hace que los materiales tengan las propiedades que tienen (que sean duros o blandos, flexibles o rígidos, que se comporten como imanes, como conductores eléctricos o como aislantes del calor) es la forma en que los átomos se unen unos con otros en la escala nanométrica (Serena et al., 2014). Por ejemplo, los átomos que componen la mina de un lápiz y un diamante son los mismos, pero al cambiar la forma de su estructura, las propiedades de estos materiales son totalmente distintas.

Esto es algo que los científicos ya sabían. Lo que no habían podido hacer hasta hace unas décadas es controlar esa estructura en la nanoescala ya que no había forma de ver tamaños tan pequeños, ni de cambiar a voluntad la forma en que los átomos se unían.

Desde hace un tiempo, ya existen esas herramientas: y esto abre un gran campo de investigación en el que se pueden desarrollar productos que respondan a las necesidades de la sociedad actual, lo que hace que algunos expertos consideren este reto como la próxima revolución industrial.

El hecho de que las propiedades cambien al cambiar la escala se debe a que los nanomateriales tienen un área superficial muy grande porque muchos de los átomos son superficiales, por lo que su comportamiento no es el mismo que el del material en bloque.

Esto es importante en procesos como la absorción de la luz, o en catálisis, cuando las interacciones importantes ocurren en las superficies: eso hace que participen del proceso un mayor número de átomos. Además, en esta escala, los efectos cuánticos son importantes (Serena et al., 2014) y la materia se comporta de manera diferente a como lo hace a gran escala. Un ejemplo es el del oro, uno de los materiales más preciados por el hombre desde la antigüedad por sus excelentes propiedades, entre las

que destaca su hermoso color y brillo, su maleabilidad y su estabilidad química. En las últimas décadas, el interés por este material se ha incrementado al encontrar que el oro en forma de nanopartículas presenta fenómenos físicos nuevos que incrementan su potencial tecnológico gracias a la nanotecnología, por ejemplo, en las pinturas de los coches o la nanomedicina.

Estructuras nanométricas

- Nanoestructuras de carbono

Los fullerenos, el grafeno y los nanotubos de carbono son sustancias con propiedades peculiares que están hechas de carbono, lo mismo que las puntas de mina de un lapicero, o que los diamantes. El carbono es uno de los componentes más importantes también de los seres vivos, de nuestro propio cuerpo.

Los fullerenos son la tercera forma más estable del carbono, después del grafito y el diamante.

Son grandes moléculas de carbono formadas por estructuras cerradas compuestas por decenas de átomos de carbono; en concreto tenemos el ejemplo del C₆₀, uno de los más conocidos por su similitud con un balón de fútbol. El C₆₀ está formado por 60 átomos de carbono dispuestos formando hexágonos y pentágonos. Se llaman fullerenos en honor al arquitecto Buckminster Fuller que diseñaba cúpulas con esta estructura.

La relación de tamaños entre una molécula de fullereno y un balón de fútbol es la misma que entre el balón de fútbol y el planeta Tierra (Jaime Lahoz, 2021).

Los fullerenos tienen aplicaciones en el campo de materiales y de biomedicina debido a su procesabilidad y a sus propiedades particulares, por ejemplo, se han obtenido polímeros con propiedades eléctricas y ópticas especiales, y algunos de sus derivados organometálicos muestran actividad contra el virus que provoca la enfermedad del SIDA.

Los nanotubos de carbono están formados por láminas de grafeno, que son láminas formadas por átomos de carbono dispuestos formando una red de hexágonos. Cuando las láminas de grafeno se apilan, formando capas planas, dan lugar al grafito (que es el

componente de la mina de un lapicero). En cambio, si las láminas de grafeno se enrollan formando un tubo de aproximadamente 1nm de diámetro, dan lugar a nanotubos de carbono, con propiedades completamente distintas.

Los nanotubos de carbono tienen numerosas aplicaciones tecnológicas debido a su ligereza (ya que son huecos y porosos) y a su alta resistencia mecánica, lo que los hace útiles para reforzar la estructura de otros materiales y la formación de composites (estructuras compuestas) de bajo peso, alta resistencia y enorme elasticidad.

Microscopia

En el mundo de lo pequeño existen, en realidad, distintos tamaños. Pasa lo mismo cuando pensamos en el tamaño de objetos grandes: una montaña es un objeto mucho más grande que nosotros, pero mucho más pequeña que el planeta Tierra, que, a su vez, aunque nos parece muy grande, es mucho más pequeña que el Sol.

Entre las cosas pequeñas, las hay de tamaño microscópico, que sin embargo son mucho más grandes que las de tamaño nanoscópico.

Un objeto que se utiliza para observar lo muy pequeño es el microscopio óptico. Con él, podemos observar detalles imperceptibles a simple vista. Aunque nos permite ver lo muy pequeño, los detalles que percibimos con él son miles de veces más grandes que la nanoescala. El microscopio óptico se sirve de la luz visible para crear una imagen aumentada del objeto. El más simple es la lente convexa doble con una distancia focal corta. Algunos microscopios ópticos pueden aumentar un objeto por encima de las 2.000 veces.

Para poder visualizar partículas por debajo de los 100 micrómetros es necesario utilizar microscopía electrónica, ya que la microscopía óptica no nos proporciona suficiente resolución. El microscopio electrónico utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz visible. La longitud de onda del haz de electrones es mucho más pequeña que la de un haz de luz visible por lo que la resolución aumenta. Los electrones chocan con la muestra y se desvían; estas desviaciones son recogidas y procesadas. La imagen que vemos se reconstruye en el microscopio a través de la información de cómo se han desviado los electrones.

Tabla 4.. Tipos de microscopía electrónica. Extraído de Guía didáctica exposición "Nanociencia, un mundo a otra escala" (INMA).

AFM- Microscopio de fuerzas atómicas: este microscopio puede utilizarse tanto en aire como en líquido, en observación de materiales duros (sustancias inertes cristalinas y amorfas) y blandos (bacterias; ADN y virus). Además de medidas topográficas de las superficies, este microscopio permite medir las fuerzas magnéticas entre la punta y la muestra.

Algunas aplicaciones interesantes de este equipo son:

- Obtención de imágenes de moléculas biológicas aisladas

- Estudio de cambios estructurales y procesos biológicos
- Cuantificación de la interacción molecular en sistemas biológicos: Ag-Ab, binding-receptor, etc.
- Medida de la carga eléctrica superficial, elasticidad y viscosidad.

STM – Microscopio de efecto túnel: Este equipo está diseñado para la medida a escala atómica. Para ello se utiliza una punta muy pequeña, con dimensiones próximas al átomo. Se puede trabajar en diversos modos de modulación de espectroscopia (STS), incluyendo espectroscopía túnel con imagen por corriente (CITS). Además, es el instrumento adecuado para la manipulación a escala molecular con alta resolución. Los requisitos previos obligan a trabajar en condiciones de ultra alto vacío para evitar la contaminación de la superficie y ultra baja temperatura para reducir el ruido térmico.

Aplicaciones de la Nanotecnología

El ámbito de la Nanociencia tiene carácter multidisciplinar. A pesar de que inicialmente surgió vinculada a la Física y la Química, pronto sus desarrollos influyeron en otras ramas, como la Ingeniería o la Robótica, y hoy en día va ganando gran importancia en otros campos como la Biología, la Medicina o el Medio Ambiente.

Podemos decir que la Nanociencia es una disciplina de futuro que nos llevará a grandes avances tecnológicos y que podría desencadenar en una segunda revolución industrial en el siglo XXI. Por eso, actualmente todos los planes de investigación y desarrollo I+D+i a nivel mundial incluyen la Nanociencia como área prioritaria en investigación.

En los últimos años, la Nanociencia y la Nanotecnología han adquirido mucha relevancia en los ámbitos de la investigación, la divulgación y la educación científica, debido a las numerosas investigaciones y desarrollos que se están produciendo en diferentes campos de importancia social (Meinguer Ledesma, 2019).

La Nanotecnología ha comenzado a proporcionar sus primeras aplicaciones comerciales en muchos sectores como la cosmética (Silpa et al., 2012), la electrónica (Huang et al., 2018) o la industria textil (Chen et al., 2016; Melchor et al., 2016), entre

otros, y presenta avances prometedores en el tratamiento y detección de enfermedades (Arruebo et al., 2007; Asadujjaman et al., 2020; Bayda et al., 2020).

Existen aplicaciones de la Nanociencia en múltiples ramas del conocimiento científico-técnico y de la industria, ya que supone innovadoras propiedades y aplicaciones que permiten desarrollos nuevos.

Algunos ejemplos de aplicaciones de la Nanotecnología en distintos campos son:

- Energía: se han desarrollado nanomateriales con propiedades interesantes como catalizadores, por ejemplo, para su aplicación en pilas de combustible. También la Nanociencia aporta evoluciones en la producción y el uso eficiente de la energía, mejorando por ejemplo el aprovechamiento de la energía solar, mediante nanomateriales sustitutos del silicio que permitan aprovechar las radiaciones infrarrojas y ultravioletas para generar energía, e incluso materiales que permitan la producción directa de hidrógeno a partir de la luz del sol.
- TIC y Electrónica: la nanotecnología ha permitido la miniaturización de los dispositivos que utilizamos, mayor funcionalidad aumentando los canales disponibles y permitiendo utilizar frecuencias más altas en la comunicación inalámbrica. También la nanotecnología se ha aplicado a sistemas de magnetorresistencia gigante para almacenamiento magnético de la información (cabeceras de CD y DVDs) y microchips.
- Biomedicina: Se han desarrollado nuevos sistemas de diagnóstico (diagnóstico molecular) y terapias (nanofármacos o medicina regenerativa), se ha mejorado la seguridad alimentaria (por ejemplo, implantando sensores en los alimentos que verifiquen su óptimo estado, gusto y aroma).
- Construcción: se han desarrollado nuevos materiales, por ejemplo, materiales resistentes a la corrosión y a la humedad, con propiedades ignífugas o antibacterianos.
- Farmacia: se han fabricado nanosistemas para administración de fármacos.
- Medioambiente: se han desarrollado sistemas para purificación y desalinización de agua, filtros más selectivos, biosensores de distintas moléculas o gases presentes en el ambiente...

- Química: Nuevos catalizadores nanoestructurados, membranas, pinturas y recubrimientos especiales.
- Transporte: gracias a la Nanociencia se han desarrollado vehículos más ligeros y eficientes, sin emisiones contaminantes, más seguros e inteligentes y además reciclables.
- Cosmética: la Nanociencia ha permitido la creación de estructuras fácilmente absorbibles por el cuerpo.

Uno de los ejemplos más comunes de aplicación de la Nanociencia a la vida diaria es el uso de las nanopartículas de plata en los productos de consumo. La plata es intrínsecamente anti-microbiana y se ha utilizado para controlar las bacterias desde la Antigüedad. Al incorporar nanopartículas de plata a los tejidos, a los plásticos y a los objetos de uso doméstico, los fabricantes pueden utilizar una pequeña cantidad de plata para matar las bacterias sin que ello afecte las propiedades de los productos.

Los nanotubos de carbono se podrían utilizar para hacer los cuadros de bicicleta y las raquetas más ligeras y resistentes. Las nanopartículas de dióxido de titanio y óxido de zinc se utilizan en muchos protectores solares, para proteger la piel de la radiación de los rayos ultravioleta sin dejar una capa pastosa blanca. Hay ropa que es tratada con capas de nanopartículas que impiden que se manchen. Y los microchips con componentes a nanoescala ya son corrientes en la electrónica actual, desde ordenadores a lectores de mp3, cámaras digitales y consolas de videojuego.

Cada vez parece más cercana la posibilidad de que la Nanociencia proporcione nuevos métodos de diagnóstico y mejoras en la liberación controlada de fármacos para el tratamiento de enfermedades como el cáncer (Arruebo et al., 2007). De la misma manera será posible una cirugía mínimamente invasiva, con microsistemas que, manejados desde el exterior, se desplazarán hasta el punto decisivo para realizar operaciones concretas como calentar para cauterizar, reparar heridas internas, suministrar fármacos, etc.

La nanotecnología permite fabricar materiales con propiedades muy específicas como la hidrofobicidad. Entre los átomos de la gota de líquido y los átomos de sólido de una

superficie, se establecen interacciones, las fuerzas de atracción entre átomos provocan la reducción del ángulo de contacto entre la gota y la superficie, lo que además se ve aumentado por el efecto de la gravedad. En las superficies hidrofóbicas se alcanza un ángulo de contacto de hasta 120° lo que hace que la superficie de contacto entre la gota y la superficie sea mucho menor y ésta resbale.

Hoy en día ya se dispone de dispositivos nanoestructurados capaces de reconocer moléculas individuales y distinguir unas de otras. Se podrá en poco tiempo construir verdaderos filtros moleculares y utilizarlos para la eliminación de contaminantes o de productos altamente tóxicos.

Además, la nanotecnología abre las puertas a los llamados nuevos procesos de fabricación de contaminación cero. Al poder manipular la materia átomo a átomo en teoría se podrá evitar todo desperdicio, el reciclado será completo, y no habrá subproductos indeseados.

Una vez revisados los conceptos clave relacionados con el contenido objeto de estudio, es decir, la Nanociencia, pasaremos en el siguiente capítulo a revisar como se aborda la divulgación de esta rama de la ciencia.

Capítulo 2.2.2. La divulgación de la Nanociencia

Justificación de la necesidad de divulgar la Nanociencia

Para comenzar con el apartado de divulgación de la Nanociencia y la Nanotecnología, es preciso en primer lugar, presentar algunos fundamentos acerca de la importancia de la divulgación de esta novedosa rama de la ciencia y la tecnología.

Los avances en Nanociencia y Nanotecnología han venido revolucionando la ciencia en los últimos años “pasando en breve tiempo de ser conocidas por una pequeña parte de la comunidad científica a ser consideradas pilares de la siguiente revolución tecnológica e industrial” (Serena et al., 2014). He ahí la importancia de iniciar una formación de este campo de la ciencia en estadios tempranos ya que es precisamente la formación en primaria donde se tiene una estupenda oportunidad de sentar las bases del pensamiento científico entre los aprendices (Furman, 2008).

Tutor-Sánchez (2013a) expone razones de índole científica, tecnológicas, comerciales, empresariales y sociales, que justifican la necesidad e importancia de la divulgación y formación en Nanociencia:

Razones científicas y tecnológicas

Debido al potencial de las aplicaciones de las estructuras nanométricas que presentan comportamientos diferentes a los correspondientes en escalas macroscópicas, permitiendo la generación de productos tecnológicos de prestaciones singulares, como dispositivos electrónicos y circuitos más pequeños y rápidos, y en general con funciones más sofisticadas y eficientes, y porque la organización de la materia a escala nanométrica es clave en los sistemas biológicos. También porque las estructuras nanométricas tienen una elevada relación superficie/volumen, lo que las hace idóneas para su aplicación en la síntesis de materiales compuestos, reacciones químicas, liberación controlada de fármacos y almacenamiento de energía, entre otros.

Razones económicas

Existen numerosos productos y servicios basados en la nanotecnología que se comercializan en el mercado en la actualidad, como textiles antimanchas, pantallas

flexibles, pinturas, envases y embalajes, componentes electrónicos, medicamentos y fármacos, como se recoge en “Project on Emerging Nanotechnologies, (2015)” (<http://www.nanotechproject.org>).

Así como los beneficios económicos derivados de la nanotecnología (International Symposium on Assessing the Economic Impact of Nanotechnology, 2012) y el elevado interés del mundo empresarial e industrial en la producción de bienes y servicios nanotecnológicos (<http://www.nynanobusiness.org>). La Nanotecnología ya está generando un negocio considerable (Xue, 2011) cuyos beneficios están desigualmente repartidos pues se concentran en las empresas de aquellos países que lideran la investigación en esa disciplina y que apuestan por su transferencia al sector productivo (Delgado, 2008).

Razones sociales

Puesto que la sociedad necesita estar informada sobre aspectos que repercuten en los ámbitos descritos anteriormente. Los ciudadanos deben estar informados de las ventajas de los productos y servicios basados en la Nanotecnología a la vez que deben tener elementos de juicio para la valoración de sus posibles riesgos. En este nuevo contexto, la divulgación y la enseñanza de la Nanotecnología, en contextos tanto formales como informales, se han convertido en factores clave para su adecuada implantación y desarrollo (Bonazzi, et al., 2010).

Razones éticas

Añadimos a las anteriores una serie de razones de consideración ética ya que la llegada al mercado de bienes de consumo basados en la Nanotecnología va acompañada de problemas relacionados con aspectos éticos, medioambientales, sanitarios, de seguridad laboral, legales, etc. (Shatkin, 2008). Además, hay que tener en cuenta otro importantísimo factor: la percepción que la población tiene o puede llegar a tener sobre las aplicaciones de la Nanotecnología (Currall, 2009; Satterfield, et al., 2009).

En las últimas décadas se ha observado como la población ha ido modificando su percepción sobre la Nanotecnología pasando de tener una visión indiferente o positiva a otra de incertidumbres o rechazos, llegándose a demandar una moratoria de la comercialización de productos derivados de la Nanotecnología. Por ello, diversos gobiernos y organismos han incluido en su agenda el desarrollo y la aplicación de consideraciones éticas y de conducta relacionadas con la investigación en Nanotecnología y en el empleo de nanopartículas y otros nanomateriales (Comisión Europea, 2008) y ha promovido programas dedicados a la “nano-eco-toxicología” (Kahru y Duborguier, 2010), estudios de opinión y percepción pública de la Nanotecnología (Vessuri, 2009).

Por otra parte, es preciso destacar el valor de la Nanotecnología como recurso pedagógico para atraer a la población incentivando su curiosidad y fomentando vocaciones científicas entre los jóvenes (Serena y Tutor, 2011).

En la década de los años noventa, muchos países comenzaron a desarrollar acciones de divulgación sobre la Nanociencia y la Nanotecnología, lo cual les permitió contar con estrategias nacionales o regionales. Algunos países empezaron a incorporar en los programas educativos de ciencias, en los niveles de primaria y secundaria, incluyendo conceptos y generalidades de la Nanociencia y la Nanotecnología (Hsiao-Ping y Enyi, 2020), con buenos resultados en el aprendizaje (Hsiao-Ping y Enyi, 2020; Mandrikas et al., 2019; Nandiyanto et al., 2018). Estas acciones, junto a la formación especializada en los niveles de pregrado y posgrado universitario, ha permitido ir creando una cierta cultura en algunos sectores de la población (Tutor et al., 2015).

Por estas razones, diferentes países han puesto en marcha en los últimos años iniciativas de divulgación y formación en Nanotecnología como los recopilados en la siguiente tabla:

Tabla 5.. Iniciativas de divulgación de la Nanociencia en diferentes áreas geográficas. Seleccionadas y extraídas de https://programainvestiga.org/pdf/presentaciones14_15/PresentacionNanotecnologiametodologiasymaterialesparaelaula.PedroSerena.pdf

PAIS	HERRAMIENTAS DIVULGACIÓN NANOCIENCIA
EEUU	US National Center for Learning and Teaching in Nanoescale Science and Engineering (http://www.nclt.us). Nanodays: https://www.nisenet.org/nanodays
Taiwan	Plan Nanotechnology Human Resource Development (http://www.nano.edu.tw/en_US/)
Francia	http://www.citesciences.fr/francais/alcite/expositions/nanotechnologies/
Alemania	Exposiciones itinerantes (http://www.nanotruck.de)
Irán	Exposiciones, jornadas, materiales educativos, programas universitarios (http://en.nano.ir/)
Iberoamérica	NANODYF (www.nanodyf.org)
Europa	NANOYOU (www.nanoyou.eu)
España	RedNanoSpain, http://www.nanospain.org/nanospain.php?p=h Nanoeduca http://nanoeduca.cat/es/inicio/ CSIC https://www.csic.es/ciencia-y-sociedad/iniciativas-de-divulgacion FECYT https://www.fecyt.es/es/publicacion/ INMA www.inma https://inma.unizar-csic.es/divulgacion/ ESCIENCIA https://esciencia.es/proyectos-europeos/

Peculiaridades para la divulgación de la Nanociencia

Como hemos expuesto en el apartado anterior, existen numerosos aspectos que justifican la divulgación de la nanotecnología, pero la divulgación de esta rama de la ciencia presenta una serie de peculiaridades que la diferencian de la divulgación de otras disciplinas, como recogen Serena y Tutor (2011):

- Se trata de un campo amplio e interdisciplinar que aúna varias ciencias básicas, por lo que puede tener diferentes enfoques o vías de aproximación.

- Se trabaja con entidades que no pueden observarse a simple vista y que se rigen por principios poco intuitivos basados en efectos y propiedades cuánticas.
- No existe una formación reglada en el diseño y ejecución de herramientas para divulgación de la Nanociencia.
- Las entidades que llevan a cabo proyectos de divulgación de la Nanociencia no están siempre coordinadas de la mejor manera posible, lo que repercute en el alcance de las acciones y por tanto la consecución de los objetivos.
- Falta de recursos y estructuras de red para optimizar los recursos y materiales existentes de una manera más eficiente.

En forma de resumen, podemos afirmar que la divulgación de la Nanociencia ofrece un amplio abanico de posibilidades, a pesar de sus peculiaridades que justifican su ampliación y ponen de manifiesto la falsa creencia de que la ciencia y la tecnología sólo son necesarias para los científicos y especialistas. En la actualidad, a nivel no universitario, una adecuada formación en Nanotecnología es fundamental para todos los alumnos, cualquiera sea su condición sociocultural, aptitud, interés, capacidad y orientación profesional. Y con más razón aún se justifica la necesidad de una sólida formación, diferenciada, en Nanociencia y Nanotecnología a niveles universitarios de grado y postgrado.

Conviene, por tanto, centrarse, en el análisis de los destinatarios de la divulgación de la Nanociencia.

Públicos de la divulgación de Nanociencia

En los países desarrollados, podríamos agruparlos en las siguientes categorías:

- Sociedad general. A través de actividades de divulgación enfocadas para público general o targets concretos de la sociedad con el objetivo de mejorar la cultura científica de la sociedad respecto a la Nanociencia.
- Público escolar. A través de iniciativas y actividades diseñadas y ejecutadas específicamente para diferentes niveles educativos y que se ejecutan tanto dentro como fuera del aula. Existen iniciativas para todos los niveles académicos desde infantil, primaria, secundaria y Bachillerato, siendo más escasas las que tienen por objetivo la Formación Profesional.

- Público universitario. También de manera minoritaria existen acciones para divulgar la Nanociencia entre los estudiantes universitarios en este caso con un objetivo formativo, por tratarse este grupo de edad, concretamente los matriculados en carreras científicas, los protagonistas futuros de llevar a cabo la Nanociencia y la Nanotecnología.

Una vez conceptualizada la divulgación de la Nanociencia, pasaremos a revisar el estado del arte en la bibliografía desde el punto de vista de la investigación.

La investigación en divulgación de la Nanociencia

Enfocándonos en el contexto español, la situación se parece a la de los países iberoamericanos y se caracteriza por un déficit de actividades de divulgación de la nanotecnología, así como de la ausencia de estudios específicos de percepción pública de la Nanociencia (Serena y Tutor, 2011; Tutor y Serena, 2011).

Castellini et al. (2007) analizaron el conocimiento público sobre nanotecnología para identificar puntos de partida apropiados para el diálogo y encontraron que las personas carecen de una verdadera comprensión de los conceptos asociados con los átomos y el tamaño en términos de la nanoescala. Esta carencia en la comprensión conduce a una falta de comunicación entre los investigadores y el público con relación a conceptos fundamentales de la ciencia y la ingeniería en la nanoescala y proponían diferentes estrategias sobre cómo los científicos deben presentar sus investigaciones para involucrar al público en temas de nanotecnología y servir de puente en la comunicación de conceptos vinculados con la Nanociencia y la ingeniería.

Por tanto, la investigación parece señalar que el primer reto para involucrar a la audiencia con conceptos tecnológicos consistiría en crear un diálogo y comprender qué conocimiento previo y qué concepciones erróneas tiene una audiencia específica (Best y Rowe, 2005). A este respecto, aunque la audiencia ha oído hablar de nanotecnología, no es capaz de definirla de manera precisa.

Por ello es necesario proveer de una definición clara de nanotecnología para establecer unos pilares básicos a partir de los cuales se pueda construir la conversación (Castellini et al., 2007). Esta definición debe contemplar el término de nanómetro, que

es también pobremente entendido ya que es mucho más pequeño de lo que podemos ver a simple vista. Muchas veces los investigadores recurren a la definición de la Nanotecnología como "la tecnología de la escala atómica", asumiendo que el concepto de átomos es bien entendido por los estudiantes. Pero esa asunción es a menudo errónea como muestran algunas investigaciones con estudiantes de secundaria (Cascarosa et al., 2022; Sánchez-Mora y Tagüeña, 2011).

Es preciso, por tanto, reeducar en los conceptos básicos como los átomos y la escala atómica antes de saltar en detalles de investigación, ya que esta aproximación puede conducir a una actitud más positiva sobre la Nanociencia. Es importante considerar para ello la forma de presentación del contenido. Una posible alternativa es utilizar piezas de lego que han resultado efectivas para la revisión pictórica del sistema métrico (Mayer y Moreno, 1998) y que permitirían revisar los conceptos del tamaño del átomo a través de la utilización de potencias de 10 y trabajando desde la macroescala hasta el nanómetro.

Es también importante destacar que las audiencias se muestran más receptivas y retienen más conocimiento cuando están activamente involucradas no solo con el contenido, sino también con el interlocutor y en todo caso más que cuando escuchan pasivamente (Massey y Haas, 2002). Este diálogo incrementa la confianza de la audiencia para explorar la ciencia y les hace sentir que sus pensamientos y opiniones son valiosas para los investigadores (Rennie y Stocklmayer, 2003; Winter, 2004).

El número de conceptos clave debe ser limitado a dos o tres y deben ser repetidos varias veces y explicados de diferentes formas para asegurar que son entendidos y recordados. Las analogías con la vida diaria pueden ser efectivas para conseguir esa mejor comprensión, al igual que demostraciones y animaciones.

Los docentes son conscientes de la necesidad de formarse en estos contenidos como vía para lograr generar impacto, curiosidad y motivación y así despertar el interés de los estudiantes por el aprendizaje de las ciencias, ratificando de esta forma que es posible e importante abordar temáticas de nanotecnología desde la educación secundaria (Torres y Duarte, 2018). Estos autores realizaron una propuesta educativa dirigida a estos docentes para la divulgación y la enseñanza del concepto de Nanomateriales a

partir de las dimensiones de alfabetización científica y tecnológica denominada “Docente-nano” a través de diferentes sesiones de trabajo en las que se abordan temáticas como:

- La introducción a la Nanociencia y la nanotecnología
- Nanoescala y nanomateriales
- Métodos de observación
- Nanomateriales basados en Carbono
- Nanotoxicología, entre otros.

Tutor-Sánchez y Takeuchi (2015) argumentan la importancia de la divulgación y la formación científica y tecnológica en Nanociencia y Nanotecnología y mencionan las acciones que acomete en esta línea la Red Internacional José Roberto Leite de Divulgación y Formación en Nanotecnología, NANODYF (www.nanodyf.com).

En este sentido sostienen la importancia de incentivar iniciativas para la formación del personal docente en los niveles primarios y secundarios de enseñanza en conocimientos sobre nanotecnología, a través de la organización de cursos de formación de maestros y profesiones. Se trataría de cursos de entrenamiento en los que se brinden recursos didácticos a los docentes vinculados a las áreas de ciencias naturales y tecnología, que permitan además del cumplimiento del proceso de enseñanza-aprendizaje, a incentivar y homogeneizar las iniciativas en la formación en nanotecnología en los niveles superiores universitarios de grado y postgrado (Tutor-Sánchez, 2013b), de forma que los educadores sean capaces de transmitir los nuevos conocimientos a la población estudiantil, convirtiéndose en multiplicadores del conocimiento en Nanociencia (Camacho-Elizondo et. al, 2022).

Otros ejemplos utilizan el carácter transversal de la Nanociencia para la aproximación a conceptos nano. Ortiz-Andrade et al. (2019) realizaron una investigación para la planificación, diseño y desarrollo de la obra Nanocirco en la que integraron el circo y el teatro con la ciencia para ofrecer una experiencia de comunicación científica no formal, motivar a las personas a la ciencia y enseñar cuatro conceptos de Nanociencia y Nanotecnología. Este formato de espectáculo interdisciplinario ha resultado

motivador y constituye un instrumento diferente de enseñanza y comunicación no solo para los espectadores sino también para el equipo desarrollador.

Panissal y Brossais (2012) llevaron a cabo una investigación basada en un proyecto de educación ciudadana, pero desde el enfoque de las aplicaciones de la Nanociencia y de las controversias vinculadas a ellas a través de una combinación de charla acumulativa, charla exploratoria y debates en la escuela, lo cual lleva a los estudiantes a ser capaces de construir opiniones razonadas y posicionarse en su entorno de manera responsable. Esta práctica se ha demostrado relevante para combinar el aprendizaje de contenidos académicos y culturales con las competencias sociales necesarias para la educación ciudadana comprometida en el ámbito de las nanotecnologías.

Otras investigaciones recogen como se han desarrollado diseños de exposiciones sobre Nanociencia (Murriello et. al, 2006; Murriello et. al, 2009) y demuestran la importancia de diseñar de manera adecuada estas actividades teniendo en cuenta los obstáculos epistemológicos y pedagógicos existentes para la divulgación de la nanotecnología, contando para ello con la participación de expertos en ciencia y en comunicación de la ciencia. (Serena, 2013b).

Capítulo 2.2.3. Dificultades para la divulgación de la Nanociencia

La divulgación de la Nanociencia, como el resto de los campos científicos, no está exenta de dificultades de carácter general como la complejidad y especialización de los contenidos, la diversidad de públicos destinatarios y la dificultad de su evaluación.

Gómez-Ferri et al. (2014) recopilan una serie de dificultades más específicas a tener en cuenta que hemos estructurado en las siguientes categorías:

Dificultades relacionadas con la propia naturaleza de la rama o campo:

- Se trata de una rama novedosa de la ciencia lo que provoca una condescendencia respecto al desconocimiento general de la misma.
- Extensión de contenidos. La Nanociencia es una rama multidisciplinar que contempla infinidad de conocimientos de diferentes campos de la ciencia y la ingeniería.
- Falta de consenso. Derivado de lo anterior no existe consenso entre la comunidad científica sobre la verdadera entidad de la Nanociencia como nuevo ámbito del saber o la visión desde el punto de vista de la Nanociencia de las disciplinas de siempre como la Física, la Química o la Ingeniería.

Dificultades relacionadas con el contenido en sí mismo:

Como ya hemos comentado en el apartado anterior, la divulgación y comprensión de la investigación en la nanoescala incluye la adquisición de un vocabulario de términos relacionados con el “nanomundo”, como punto de partida para la adquisición de una cultura científica sobre el tema, pero la falta de comprensión de conceptos, como por ejemplo el de átomo o molécula (Cascarosa et al., 2022), suponen una barrera para comprender al científico que los utiliza (Crone y Koch, 2006). Además, esta carencia implica también la falta de comprensión de conocimientos como la estructura básica de la materia y su carácter discontinuo (formada por partículas) y hace que se razone incorrectamente en relación con que los átomos y moléculas de una sustancia tengan las mismas propiedades que dicha sustancia tiene en la macroescala, que es el axioma contrario al que rige las propiedades y aplicaciones de la Nanociencia. Además, existen grandes dificultades para comprender las escalas invisibles al ojo humano (Crone y Koch, 2006; Tagüeña, 2011).

Sánchez-Mora (2009) señala dos obstáculos principales de aprendizaje en estudiantes de secundaria sobre la comprensión de las nanoescalas: la concepción de la dimensión de nanómetro y la interpretación de las nanoescalas.

- La escala nanométrica. El obstáculo que supone comprender la escala en la que tienen lugar la Nanotecnología, muy alejada de la escala a la que estamos acostumbrados los seres humanos. Esto revierte en un estudio muy poco intuitivo difícil de concebir y mucho menos, de visualizar. Existen estudios que han comprobado esta dificultad de diferenciar y situarse en la escala nanométrica tanto en público general como escolar como los llevados a cabo por (Castellini et al., 2007; Sánchez-Mora y Tagüeña, 2011; Waldron et al., 2005).
- La complejidad del estudio de la cuántica. La comprensión de los fenómenos nanométricos implica conocer los procesos que tienen lugar a nivel cuántico. La cuántica incluye una serie de conceptos inasequibles para la mayoría del público (Serena, 2013a).

Dificultades de contexto

- *Ausencia de estudios sobre la comprensión y comunicación pública de la Nanociencia.*

Las primeras encuestas sobre percepción pública de la Nanociencia corresponden a 2001 (Eurobarómetro 55.2. Europeans, Science and Technology. Eurobarometer Special Survey 154, Comisión Europea, 2001) y a 2002 en el caso de EEUU (Sims, 2002). A partir de entonces los estudios sobre los conocimientos, intereses y actitudes pública hacia la Nanociencia y la nanotecnología han ido proliferando paulatinamente. En el caso de España apenas existen trabajos de investigación específicos sobre la comprensión y comunicación pública de la nanotecnología a excepción de las preguntas incluidas en los eurobarómetros globales de la Comisión europea de los años 2001, 2002, 2005 y 2010.

Entre los artículos revisados destacan el de Serena y Tutor (2011), donde evalúan la divulgación de la Nanociencia y la Nanotecnología en España, aportando una serie de recomendaciones para su mejora y el “Libro blanco de las Nanotecnologías”, donde se

reflexiona en profundidad sobre la repercusión ética y social derivada del amplio despliegue de las nanotecnologías, con el objetivo de promover y propiciar el diálogo abierto a todos los ámbitos (Casado et al., 2021). La situación de España destaca por la ausencia de contenidos sobre Nanociencia en los diferentes niveles educativos, desde la primaria a la superior, pasando por la secundaria (Serena y Tutor, 2011), a diferencia de lo que ocurre en otros países como Estados Unidos, Japón, Taiwán, Alemania o Francia, entre otros, donde se han elaborado planes específicos, que se han traducido en diferentes estrategias de educación y divulgación como *nanoyou*, *nanodialogue*, *nanologue*, *nanocap*, *macospol*, *nanoplat*, *framingnano*, *nanotruck*, *nanocamp*, *nanoreisen*, *nanoboy* (Comisión Europea, 2010), aunque en alguno de ellos el alcance ha sido muy limitado.

Veltri (2013), se enfocó en la visión de la Nanotecnología en la prensa española entre los años 1997 y 2009, a través del análisis de noticias de diferentes diarios, estableciendo la minimización de los aspectos más controvertidos con el paso del tiempo. En otros países como se han llevado a cabo estudios sobre divulgación en publicidad general y específica de algunos productos de consumo (Körbes e Invernizzi, 2010; Novo y Borges, 2010).

- *Bajo interés y dificultad para involucrar al público*

Entre los resultados de los estudios de percepción pública destacan el del gran desconocimiento y falta de familiaridad que la gente tiene sobre la Nanotecnología (Comisión Europea, 2001; Waldron et al., 2005; Satterfield et al., 2009; Simons et al., 2009), siendo España uno de los países de Europa donde la familiaridad con la Nanotecnología es de las más bajas, con un gran segmento de población con desconocimiento total sobre la misma (Comisión Europea, 2010). Además, el grado de interés que suscitaba respecto a otras cuestiones científicas y en comparación con otros países era escaso (Comisión Europea, 2001). Estos datos son consistentes con lo que apuntan estudios más amplios, en los que se pone de manifiesto el bajo nivel de cultura científica de la sociedad española (Bauer y Howards, 2013).

Algunos autores apuntan la dificultad e inexistencia de prácticas para involucrar al público en los procesos de comunicación de la ciencia en España (Revuelta, 2010), que podría constituir otro posible obstáculo.

Dificultades sociales

- Aspectos sociales, medioambientales y éticos. La incertidumbre sobre el futuro de la Nanotecnología, desde el punto de vista de la seguridad y los beneficios tiene como consecuencia igualmente, la dificultad de realizar predicciones acertadas debido a este carácter emergente que provoca incertidumbre entre la sociedad (García Hom y Moles Plaza, 2013).

Dado que esta tesis se centra, entre otros, en el estudio de la figura encargada de la divulgación de Nanociencia, incluimos otra serie de dificultades relacionados con esta figura.

Dificultades relacionadas con el educador científico

- *Cognitivos*

Cuando se afronta la tarea de trasladar el conocimiento científico al ciudadano de a pie, existe además una dificultad añadida basada en “el punto ciego del experto” de acuerdo a Nathan et al. (2001). Según el modelo de Sprague et al. (2018), para explicar el desarrollo cognitivo que experimentamos desde que somos aprendices a expertos en cualquier disciplina del saber, ocurre que cuando hemos llegado a tener conocimientos profundos sobre un tema, presentamos una especie de inconsciencia sobre todo lo que resulta necesario aprender antes de llegar a hacer ciertas cosas que los expertos hacen sin dificultad como percibir relaciones entre situaciones distintas, resolver problemas en contextos diferentes, etc. y que hace caer en la falsa creencia de que los principiantes deberían poder hacer esos procesos también sin demasiada dificultad. Por ello, sin percibirlo, el experto puede proponer métodos o actividades de aprendizaje obviando pasos que son clave para los principiantes, sin apreciar la importancia de una adecuada secuencia didáctica o errar en la correcta planificación del tiempo que requerirá el correcto aprendizaje (Ruíz, 2021). Los conocimientos

didácticos o conocimientos sobre cómo enseñar, son precisamente los que pueden ayudar a compensar ese punto ciego.

Por tanto, si nos centramos en el objetivo de la divulgación de formar a la sociedad, tenemos que hablar de habilidades y capacidades que contemplen la dimensión didáctica.

- *Competenciales*

- o Falta de formación en divulgación y comunicación de la Nanociencia.

Algunos autores señalan como causa la falta de formación a pesar de que la implicación de los científicos en las actividades de comunicación pública de la ciencia haya aumentado (Gonzalez-Alcaide et al., 2009), ya que esta tendencia supone una sobrecarga a las demandas y exigencias sobre las funciones que tradicionalmente tenían asignadas, ya que se trata de una labor que realizan la mayoría de las veces desde el compromiso y la satisfacción personal, el amateurismo y la voluntariedad (Serena y Tutor, 2011; Torres-Albero et al., 2011) y para la que no reciben, por tanto, formación.

- *Actitudinales*

Podrían existir también otro tipo de obstáculos vinculados con la actitud hacia la práctica divulgadora, como el reconocimiento social o económico de la labor divulgadora, así como las actitudes hacia los contenidos a divulgar.



Figura 7. Tipos de dificultades en la divulgación de la Nanociencia (elaboración propia)

En resumen, para fomentar la asimilación de contenidos en Nanociencia y Nanotecnología debe coexistir la divulgación y la formación. La divulgación hace accesible el conocimiento al público en general, mientras que la formación tiene que ver con la educación formal que se puede presentar en diferentes ciclos o etapas como la educación primaria, secundaria o universitaria (Tutor-Sánchez, 2013a). De esta manera, La divulgación de la Nanotecnología constituye un reto de cierta complejidad que es necesario abordar de una manera planificada, desde una perspectiva multidisciplinar y apoyándose en una gran variedad de canales existentes (Serena, 2013b).

En el siguiente apartado, revisaremos estos canales y herramientas para la divulgación de la Nanociencia y la Nanotecnología.

Capítulo 2.2.4. Formatos y herramientas para la divulgación de la Nanociencia

Entre los ejemplos relevantes de iniciativas nacionales de formación en Nanociencia y Nanotecnología destacan el centro "US National Center for Learning and Teaching in Nanoscale Science and Engineering" (<http://www.nclt.us>) en Estados Unidos que cuenta con una plataforma de recursos para todos los públicos. En Europa destaca la iniciativa "NANOYOU, School's Community" (www.nanoyou.eu) donde a través de videos, juegos y diálogos interdisciplinarios, buscan captar la atención y resaltar la importancia de estos conceptos (Tutor-Sánchez, 2013b).

Por otro lado, vale la pena citar "NanoDays" (<https://www.nisenet.org/nanodays>) que consiste en un festival anual de programas educativos en Estados Unidos sobre ciencia, ingeniería y tecnología a nanoescala y su impacto en la sociedad. Sus eventos han tenido lugar en variados lugares, tales como museos de ciencias, centros de investigación y universidades de todo el país desde Puerto Rico hasta Hawái. Los "NanoDays" pueden involucrar a personas de todas las edades que deseen aprender sobre este campo emergente de investigación.

En España se destaca la red española de Nanotecnología (RedNanoSpain, <http://www.nanospain.org/nanospain.php?p=h>), que tiene como objetivo prioritario promover el intercambio de conocimiento entre grupos españoles que trabajan en los diferentes campos relacionados con la nanotecnología y la Nanociencia fomentando la colaboración entre universidades, instituciones de investigación públicas y privadas e industria y con más de 275 grupos de investigación registrados en la actualidad, lo que representa a más de 1300 investigadores locales trabajando en la temática (Serena, 2009).

En Cataluña sobresale el programa Nanoeduca, diseñado para introducir la Nanociencia y la nanotecnología al alumnado y profesorado de secundaria y bachillerato, a través de diferentes recursos educativos como talleres, animaciones y juegos virtuales, entre otros, con el objetivo de incrementar los conocimientos sobre nanotecnología y fomentar vocaciones científicas. (<http://nanoeduca.cat/es/inicio/>).

En Madrid destacamos la Red NANODYF, cuyo principal objetivo es transmitir la aportación del conocimiento e investigación científica en Nanotecnología a la sociedad a través de una nano educación de dimensión pública, así como analizar la interacción

del conocimiento científico en Nanotecnología con otros saberes y formas de conocimiento. (<http://www.madrimasd.org/blogs/irleitenano/red-nanodyf-2/>).

El Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón

En nuestro entorno más próximo, cabe destacar la extensa labor en divulgación científica llevada a cabo por el Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón desde su constitución como Instituto de Nanociencia de Aragón (INA).

El Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (INMA), CSIC-UNIZAR, es un instituto de investigación consciente y comprometido con la demanda actual de la sociedad, que exige, cada vez más, conocer el trabajo de los investigadores y los beneficios que estas investigaciones les aportan como ciudadanos.

Para potenciar esta línea de actuación, el INMA dispone, desde 2017, de una Unidad de Cultura Científica y de la Innovación (UCC+i) acreditada por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología – Ministerio de Ciencia e Innovación que es la encargada de la coordinación de las labores de difusión y divulgación cuyo trabajo ha recibido reconocimientos y premios a nivel internacional, nacional y regional.

La UCC+i ofrece a sus investigadores el soporte necesario para:

- La difusión de los trabajos de investigación / premios / congresos / conferencias / lecturas de tesis, etc., en los medios tanto internos (web, redes sociales, iCEQMA, iCIENCIAS, IUNIZAR etc.) como externos, regionales y nacionales (prensa/radio/televisión).
- La formación en divulgación y difusión científica, mediante cursos específicos para todos aquellos que deseen iniciarse en las actividades de divulgación y difusión de la ciencia a la sociedad.
- La participación en las diferentes iniciativas para divulgar la ciencia desarrolladas desde el INMA: charlas en centros de educativos (desde infantil a universitarios) y de ocio como bares o ferias, talleres, visitas guiadas, documentales, videojuegos, concursos etc.
- El desarrollo de actividades de divulgación y difusión que se necesitan incluir en determinados proyectos de investigación.

El INMA es un centro altamente comprometido con la divulgación y por ello esta actividad es uno de los objetivos incluidos dentro de su Plan Estratégico.

Desde el INMA se realizan numerosas actividades de divulgación de la ciencia. Estas actividades están orientadas a diferentes tipos de público para intentar abarcar todos los estamentos de la sociedad. Los objetivos son: fomentar el interés por la ciencia, comunicar la importancia de los avances científicos en distintas áreas de investigación, transmitir el trabajo que se realiza a diario en un centro de Investigación de prestigio y fomentar las vocaciones científicas. Estas actividades en muchos casos están subvencionadas por fondos regionales, nacionales e internacionales, contando el INMA con proyectos de divulgación subvencionados por convocatorias FECYT, Erasmus + y por entidades privadas (Cátedra SAMCA).

A continuación, enumeramos las iniciativas más relevantes promovidas por el INMA en función del público destinatario:

Público general:

Ferias de Ciencias (FeNANOmenos), Escape Rooms (El Rescate del Titán). Además, sus investigadores participan en actividades para público general tales como ciencia en los bares (de Copas con Ciencia) o la Noche de los Investigadores, entre otras.

Colegios e institutos

- Educación Infantil
 - NanoCuento
 - NanoEye
 - Agencia de Nanocrític@s
 - NanoMartes
- Educación Primaria
 - Agencia de Nanocrític@s
 - NanoMartes
 - ¡Bienvenido a la nanodimensión!
 - La viajera del tiempo
- Educación Secundaria

- Eurekart
- Bacterfield
- El Rescate del Titán
- NanoMartes
- FutureNanotech
- FEnanoMENOS
- NanoRevolution
- Agencia de Nanocrític@s
- Taller de magnetismo
- La viajera del tiempo

A continuación, describimos las principales herramientas en base a su formato:

Maletines y cajas de ciencia

El proyecto “NANOMartes” surgió en el 2013 como fruto de la estrecha colaboración entre el programa “Ciencia Viva” perteneciente al Departamento de Educación del Gobierno de Aragón y el INA. “Ciencia Viva” es un programa en el que participan profesores de diversos centros educativos de Aragón y cuyos miembros han colaborado en la coordinación y ejecución de este proyecto, que se planteó como una actividad a ejecutar por el propio profesor. Tras un curso de formación para los docentes, impartido por el INA y con ayuda de una guía didáctica, los propios profesores han sido los que han introducido a sus alumnos en el mundo de la Nanociencia, y han tratado de despertar en ellos el interés por la ciencia. “NANOMartes” resulta pues una herramienta divulgativa con la que acercar la Nanociencia a ambos colectivos, docentes y alumnado, desde 3º de ESO hasta 2º de Bachillerato, pudiéndose extender a otras etapas educativas como la Educación Primaria. Todas las actividades planteadas son experiencias prácticas e interactivas en las que tanto escolares como profesores trabajan con sus propias manos para introducirse en la Nanociencia. Se han desarrollado cuidadosamente las actividades a incluir dentro de estos kits para que sean fácilmente comprensibles para profesores y alumnos, en un lenguaje sencillo y con actividades que capten la atención de los escolares. En el programa han participado más de 1500 alumnos de los colegios por los

que han ido itinerando los maletines. Uno de los objetivos de esta tesis es el de analizar esta herramienta.

Exposiciones

La Exposición ¡Bienvenido a la Nanodimensión! fue diseñada y producida por el INA, en colaboración con la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, FECYT y con el Gobierno de Aragón, a través de Nanoaracat. La exposición está enfocada a alumnos de primaria y público familiar, por lo que los formatos y los contenidos son sencillos e interactivos para atraer a toda la familia. Esta exposición trata de transmitir al visitante la pasión por el conocimiento, la posibilidad de conocer un mundo nuevo, un mundo diminuto pero que influye en gran medida en lo que ocurre en el mundo macroscópico que vemos con nuestros propios ojos. Se invita a que el participante se adentre en los diferentes módulos de forma original y amena. La muestra se compone de 3 zonas:

Zona 1: ¿Qué es la Nanociencia? En este espacio se pretende que los visitantes comprendan qué es la Nanociencia y en qué escala nos movemos al hablar de esta disciplina. Para ello se utilizan distintas herramientas visuales que atraen la atención de los participantes como material audiovisual con un diseño atractivo para los más pequeños que les ayuda a entender qué es la Nanociencia, una escala graduada en nanómetros donde los participantes pueden ver la relación de tamaño que existe entre ellos y el nanómetro gracias a comparaciones con elementos más cercanos a su conocimiento, módulos en los que pueden ver cómo son ciertos objetos cotidianos cuando nos acercamos a la escala del nanómetro o un conversor de unidades que permite a los participantes hacerse una idea de lo pequeño que es un nanómetro comparando su tamaño con cosas pequeñas para nuestro ojo como una hormiga o un grano de arena.

Zona 2: ¿Dónde encontramos la Nanociencia? En esta zona se pretende que el público comprenda que la Nanociencia es algo que va más allá de un moderno laboratorio, que la aplicamos en muchos campos de nuestra vida diaria. Pretende que las familias se conciencien de la importancia de la investigación en la sociedad. Para ello se muestran vistosos experimentos que podrán manipular con sus propias manos, para descubrir por ejemplo qué es un ferrofluido o en qué consiste el efecto hidrofóbico, además se

muestran ejemplos de aplicaciones cotidianas de la nanociencia en productos que utilizamos a diario para que los participantes se sorprendan aprendiendo en qué podemos aplicar la investigación en este novedoso campo de la ciencia.

Zona 3: El INA ¿Quiénes somos? En esta última zona queremos que los visitantes vean que la investigación es algo cercano, que los niños lo puedan conocer para considerarlo como una opción de futuro.



Fotografía 4. Exposición "Bienvenidos a la Nanodimensión" en centro comercial. España, 2016. (Esciencia)



Fotografía 5. Módulos de la exposición "Bienvenidos a la Nanodimensión". España 2018. (Esciencia)

Impacto: más de 45.000 personas han recorrido la exposición desde su puesta en marcha en 2011, según la memoria de actividades del Instituto de Nanociencia de Aragón interacción con la sociedad de 2018.

Cajas sensitivas

LOS CINCO SENTIDOS Y LA NANOTECNOLOGÍA El olfato. “Aquí huele a nano” La Cátedra SAMCA de Nanotecnología de la Universidad de Zaragoza y el Instituto de Nanociencia de Aragón, en colaboración con el Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza, que ha cedido el espacio, organizaron una exposición sobre el sentido del “OLFATO” dentro del programa “Los cinco sentidos y la Nanotecnología”. La exposición tuvo lugar en la Sala Odón de Buen del Paraninfo de la Universidad de Zaragoza del 21 al 25 de mayo de 2018. Este proyecto pretendía, acercar la Nanociencia y la Nanotecnología a la sociedad de una forma diferente, lúdica y atractiva, conociendo cómo es el sistema perceptivo y sensorial de este sentido y cómo gracias a la Nanotecnología se puede reproducir para crear narices artificiales con multitud de aplicaciones reales en campos tan diversos como la medicina, la seguridad, la alimentación o el medio ambiente. Además, la exposición se completó con un taller interactivo en el que los participantes pudieron descubrir en primera persona las características perceptivas de este sentido.

El sentido del tacto es aquel que permite a los organismos percibir cualidades de los objetos y medios como la presión, la temperatura, la forma o la textura. Recientes estudios han identificado que todos podemos sentir más cuando desplazamos nuestros dedos sobre una superficie que cuando los mantenemos estáticos en la misma, llegando a demostrar que podemos sentir variaciones inferiores a 10 nm. Existen técnicas de microscopía inspiradas en el sentido del tacto, que nos permiten distinguir propiedades a nivel de la nanoescala. Estos sistemas, denominados microscopias de sonda local, están acoplados a sondas que terminan en una punta muy afilada, de un átomo o de unos pocos nanómetros, y que permiten medir las interacciones entre la superficie de una muestra y esta punta, creando así mapas de propiedades de la muestra.



Fotografía 6. Cajas sensoriales proyecto “Los cinco sentidos y la Nanotecnología”. (Esciencia).

Ferias de ciencia

El Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (INMA) de la Universidad de Zaragoza, organiza anualmente desde hace ocho años la Feria de Ciencia “FEnanoMENOS”, la Feria de Nanociencia para escolares de Aragón. Dicha Feria busca acercar los participantes a la Nanociencia tratando de fomentar su vocación por la ciencia y la innovación y haciéndoles sentirse como auténticos investigadores por unos días. Además, busca promover valores como el trabajo en equipo, la cooperación y la creatividad, sin olvidarse por supuesto de intentar incentivar la participación femenina, tratando de que sean las chicas las que lideren los equipos.



Fotografía 7. Final Feria Fenanómenos en Torre del agua, Zaragoza. 2018. (Esciencia)

Arte y Nanociencia

Nanoasalto es un proyecto de intersección entre artistas e investigadores en Nanociencia, en el que se exploran como los procesos de creación artística y método científico (investigación en Nanociencia) para la creación de piezas singulares que conforman una exposición itinerante. El proyecto se completa con talleres y actividades educativas para involucrar a la sociedad en este proyecto de divulgación científica.



Fotografía 8. Obra realizaada por Lorena Cosba inspirada en el trabajo de investigación de María Moros. Casa de la Mujer (2022).Página web INMA.

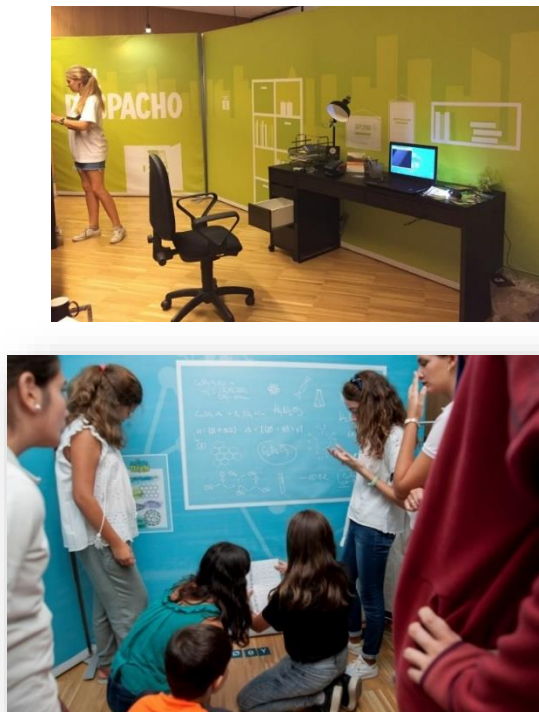
Espectáculos científicos

“¡QUE ME NANORREVOLUCIONAS!”

Se trata de un espectáculo científico donde se presentan los secretos de la Nanociencia a través de sorprendentes demostraciones en directo que aclararán las diferencias entre escalas y por tanto la esencia de la Nanociencia. El espectáculo está adaptado para los diferentes ciclos de primaria y secundaria.

Juegos de inspiración “escape”

El Rescate del Titán es una aventura científica de 40 minutos de juego trepidante que entrelaza elementos de yincana, juego de rol y *escape room* a través de los que los participantes experimentan, aprenden Nanociencia, deducen a partir de los resultados de investigación del Instituto de Nanociencia de Aragón y hacen ciencia en directo para superar pruebas y conseguir el objetivo: rescatar el microscopio electrónico “Titán” que ha desaparecido misteriosamente. Los participantes participan y juegan en equipo y deben ser capaces de resolver las diferentes pistas que un ladrón ha dejado a su cómplice para abrir el escondite que contiene su botín: el valioso microscopio TITÁN. El objetivo principal ha sido suscitar el interés por la ciencia, su conocimiento, su desarrollo y los resultados de investigación a través de lo lúdico acercando la ciencia y la innovación a público general desde los 13 años desde lo cercano y cotidiano. La actividad promueve la comprensión de conceptos científicos logrando estimular la inquietud por la Nanociencia y el interés científico a nivel personal; igualmente la creatividad y la innovación a nivel profesional; conociendo de primera mano las investigaciones que se llevan a cabo en el INMA.



Fotografía 9. Participantes del escape hall “El rescate del Titán, 2019. (Esciencia)

Talleres para fomentar pensamiento crítico

“Agencia de Nanocríticos” es un proyecto que surge con el objetivo de fomentar el pensamiento crítico y el método científico utilizando como ejemplos contenidos relacionados con la Nanociencia, con dos hilos argumentales; uno relacionado con la exploración espacial, para estudiantes de secundaria y otro sobre los dinosaurios para educación primaria.



Fotografía 10. Maletines didácticos Futurenano y El rescate del Titán (versión escape box), 2017 y 2019. (Esciencia)

Talleres en eventos de divulgación científica

Otra herramienta eficiente y cercana para la divulgación científica son los talleres de recreación científica. El taller científico es una herramienta que permite introducir la ciencia de forma experimental, directa, personal, abierta, dinámica y que automáticamente despierta el interés de los asistentes por la ciencia y la investigación, mediante la realización de actividades prácticas y participativas. Siempre acompañados de rigurosidad científica y lenguaje entendible.

- **Otros formatos (festivales, galas, cinefórum, audiovisuales)**
 - o 10alamos9

- Los Cinco Sentidos y la Nanotecnología
- RetroNanotech
- FutureNanotech
- Cápsulas de Nanotecnología (Giménez y Cabeza, 2017)

En el marco de este estudio, se ha seleccionado y se presentará en la última sección como ejemplo de propuesta didáctica para su análisis el proyecto “Los Nanomartes” debido a que la autora de esta tesis fue la encargada de diseñar y elaborar los contenidos, formato y metodología de este proyecto para el Instituto de Nanociencia de Aragón (en la actualidad INMA), dentro del equipo de Esciencia, empresa especializada en divulgación científica, de la que es socia cofundadora. Este trabajo se realizó bajo la supervisión de Ricardo Ibarra, subdirector de Instituto en la fecha de su desarrollo.

BLOQUE 3: DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 3.1. OBJETIVO Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Justificación de la investigación

Se ha llevado a cabo una revisión en profundidad de los trabajos publicados en el campo de la divulgación científica y concretamente de la divulgación de la Nanociencia en los últimos años. De forma resumida podemos concluir que existen obstáculos epistemológicos en la comprensión de la Nanociencia detectados en los receptores de herramientas para la divulgación de la Nanociencia (Sánchez-Mora y Tagüeña, 2011), pero no se han encontrado trabajos en los que se analicen los perfiles de los actuales actores encargados de llevar a cabo la divulgación de la Nanociencia y, apenas existen estudios centrados en las dificultades que encuentran en esta tarea en la fase previa del proceso de formación, es decir, las dificultades que los propios educadores detectan a la hora de llevar a cabo la tarea divulgadora de la Nanociencia en contextos de la educación no formal.

El aprendizaje científico y tecnológico que se lleva a cabo en la escuela debe contemplar la información sobre estos temas que los aprendices realizan fuera de este ámbito. Esto significa, no solo una manera diferente de aprender y comunicarse, sino una modificación de las relaciones del individuo con su entorno. Si bien la literatura sobre el aprendizaje de las ciencias en contextos educativos informales es relativamente abundante, pocos estudios relacionan estas experiencias con los procesos de aprendizaje formales (Lucas, 1991). Además se ha demostrado que las actividades educativas informales, como las que ocurren en los museos de ciencias, son útiles para mejorar las habilidades cognitivas de los estudiantes (Gerber et al., 2001), despertar actitudes positivas hacia la ciencia (Medved y Oatley, 2000) e, incluso, consolidar aprendizajes científicos, por lo que sus resultados pueden ser aprovechados en el ambiente educativo formal (Rix y McSorley, 1999), y constituir un recurso importante para la enseñanza de la ciencia, ya que dichas experiencias ayudan a revelar las raíces de la motivación y el interés hacia la ciencia y tecnología de los estudiantes y, en consecuencia, podrían proporcionar un recurso para su mejora. Por otra parte, uno de los aspectos menos estudiado, son las formas en las que es concebida la divulgación, en la opinión de quienes la llevan a cabo. Sin embargo, esta

dimensión es clave si consideramos la divulgación científica como una actividad educativa como apuntaban Sánchez-Mora y De Francisco (2013).

Por ello, consideramos oportuna la investigación en este ámbito como punto de partida para implementar, tanto la formación de los educadores científicos, como, por ende, de los beneficiarios finales, es decir, de los receptores de estos contenidos, constituyendo también un posible recurso para su aprovechamiento en la educación formal.

Objetivos de la Investigación

El objetivo general es elaborar un marco de estudio en el contexto de la educación no formal, donde profundizar en los perfiles, competencias y dificultades que presentan los educadores científicos en la divulgación de la Nanociencia y la Nanotecnología. Para ello se actuará desde el análisis de perfiles, la identificación de competencias de educadores científicos, así como la evaluación de la formación de un proyecto de divulgación de la Nanociencia, como medio para la elaboración y desarrollo de estrategias orientadas a la formación de esos perfiles. Por ello, también se analizará una formación tipo sobre Nanotecnología para una muestra de destinatarios, acordes con los perfiles resultantes del apartado anterior. Por último, se revisará una herramienta didáctica diseñada para la divulgación de la Nanociencia entre escolares, que utilizan tanto investigadores científicos, como docentes de ciencias. Los resultados del proceso de investigación pretenden mejorar el conocimiento del estado actual de las estrategias de enseñanza y formación de dichos educadores científicos y aportar nuevas referencias con respecto a la educación (científica) no formal.

Objetivos específicos

- 1) Analizar el perfil del educador científico de Nanociencia en actividades de divulgación presenciales dentro del contexto de la educación no formal. Para ello se pretende establecer un perfil tipo e identificar las competencias clave necesarias, así como analizar cómo valoran la tarea divulgadora de la Nanociencia por parte de los educadores.

- 2) Identificar los aspectos clave que desde el punto de vista de los expertos en divulgación de la Nanotecnología facilitan su comprensión en los receptores.
- 3) Recopilar y clasificar las dificultades encontradas por los educadores en el desarrollo de la tarea divulgadora de la Nanociencia en acciones de divulgación presencial y dentro del ámbito de la educación no formal.
- 4) Identificar estrategias para mejorar la formación de educadores científicos de Nanociencia para el aprendizaje de la tarea divulgadora de la Nanociencia en eventos presenciales. Para ello se analizará una formación tipo sobre la divulgación de la Nanociencia impartida a una representación de muestra acorde con el perfil identificado en el objetivo 1.
- 5) Analizar y evaluar una herramienta didáctica para la divulgación de la Nanociencia en contextos de educación no formal a través de su implementación con estudiantes y de acuerdo con la información y percepción de los docentes encargados de ejecutarla.
- 6) Plantear metodologías y estrategias didácticas, orientadas a mejorar el proceso de aprendizaje de los educadores y, los resultados de la tarea divulgadora de la Nanociencia en el contexto de la educación no formal.

Preguntas de investigación

Según lo descrito, esta tesis se estructurará en base a las siguientes preguntas de investigación:

- 1.- ¿Cuál es el perfil del educador científico de Nanociencia en España?
- 2.- ¿Cuáles son las competencias del educador científico necesarias para la divulgación de la Nanociencia en acciones presenciales?
- 3.- ¿Qué tipo de dificultades identifican los educadores científicos en la divulgación de la Nanociencia?
- 4.- ¿Qué aspectos didácticos debería considerar una formación para la divulgación de contenidos sobre Nanociencia?

5.- ¿Cómo aborda las dificultades para la divulgación de la Nanociencia una herramienta didáctica tipo?

CAPÍTULO 3.2. DISEÑO Y FASES DE LA INVESTIGACIÓN

En el diseño de la investigación se han tenido en cuenta una combinación de enfoques de tipo interpretativo y constructivista. El paradigma interpretativo se centra en la comprensión e interpretación de los fenómenos sociales y su significado subjetivo para los individuos involucrados (Lincoln y Guba, 1985). Para ello, se ha utilizado, por tanto, un enfoque inductivo, donde se han recopilado datos cualitativos identificando patrones, temas y significados y valorando la perspectiva del participante y la contextualización de los resultados. Por otra parte, el enfoque constructivista basado en la idea de que el conocimiento es construido activamente por los individuos a través de la interacción con su entorno (Guba, 1990), nos ha permitido valorar la subjetividad y la construcción social de la realidad. Por ello también se han recopilado datos cuantitativos y se ha buscado comprender los procesos de construcción del conocimiento.

En base a estos paradigmas, en el presente estudio se propone una modalidad de investigación descriptiva e interpretativa, que tiene como objetivo la descripción de los perfiles, competencias y consecuentemente de las dificultades que encuentran los educadores científicos en el desarrollo de la labor divulgadora de la Nanociencia, a partir de acercamiento a la realidad de la divulgación de esta rama de la ciencia en España, principalmente en Aragón, sin necesidad de manipular en ningún momento la realidad que se estudia (Arnau, 1995), es decir, respetando al máximo la situación natural del objeto de estudio (Mateo, 1997).

Según Mateo (1997), los estudios descriptivos son estudios propios de las primeras etapas del desarrollo de una investigación y pueden proporcionar hechos y datos e ir preparando el camino para la configuración de nuevas teorías o investigaciones. Los estudios descriptivos sirven para situar un tema o problema y sirven de base para la intervención posterior o aplicación de un programa de intervención a una realidad.

En el diseño propuesto para responder al problema de investigación planteado y abordar los objetivos se han combinado diferentes técnicas. Por ello se propone utilizar un diseño mixto o multimétodo, ya que utiliza diferentes métodos de obtención y análisis de información. Se trata de combinar las fortalezas de cada método adecuándolos a los objetivos que se plantean en esta investigación.

Fases del proceso de investigación

Las fases de investigación han seguido la misma secuencia lógica de los objetivos:

- 1) Fase de preparación:
 - Revisión de la bibliografía
 - Revisión de instrumentos de análisis
- 2) Fase de ejecución:
 - Validación de instrumentos experimentales
 - Diseño de instrumentos experimentales: cuestionarios, grabaciones, análisis.
 - Revisión lógica del instrumento: validación por revisión de expertos
 - Revisión empírica del instrumento: ensayo piloto
 - Valoración de criterios: fiabilidad y validez
 - Propuesta del instrumentos tipo
 - Especificación de la población y muestra
 - Recogida de datos
 - Análisis de datos
 - Informe de resultados: identificación de perfiles, análisis de formación y herramienta didáctica y contraste de hipótesis
- 3) Fase conclusión:
 - Propuesta de criterios de actuación en cada uno de los apartados para la implementación de la tarea divulgadora
 - Elaboración de conclusiones y recomendaciones
 - Futuras líneas de investigación

Cronograma

El proceso se ha llevado a cabo en base al siguiente cronograma:

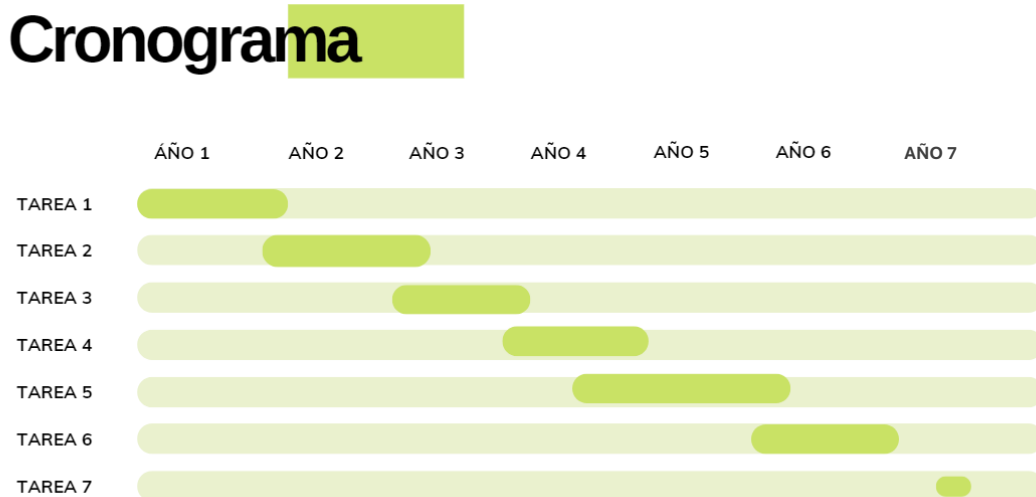
El primer año se inició una línea de acción orientada a establecer el grado y profundidad en la relevancia de los perfiles y dificultades para la trasposición de la

Nanociencia en la educación no formal. Para ellos se llevó a cabo un estudio del estado de la cuestión en los trabajos publicados a cerca del objeto de estudio (T.1).

A lo largo del segundo año se diseñaron las herramientas para el análisis de los perfiles y dificultades de los educadores científicos (T.2). Durante el año siguiente se llevó a cabo el análisis (T.3). El curso siguiente se revisó el estado del arte en cuanto a las herramientas de divulgación de la Nanociencia y de la formación de divulgadores científicos (T.4) para pasar a realizar el análisis de una formación y de una herramienta didáctica tipo, que se realizaría durante el año posterior (T.5).

A continuación, se analizaron los resultados obtenidos y se procedió a la redacción de la memoria de tesis (T.6) que será depositada y defendida (T.7).

Figura 8. Cronograma de tareas para la realización de la tesis.



**BLOQUE 4: PERFIL DEL EDUCADOR
CIENTÍFICO Y DIFICULTADES**

CAPÍTULO 4.1: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE PERFILES Y DIFICULTADES

4.1.1. Instrumentos para el análisis

En la elección de cualquier instrumento de recogida de información, las investigaciones deben estudiar las ventajas e inconvenientes de los diferentes instrumentos, para seleccionar los instrumentos que mejor cuadren con el tipo de información que se desea recoger. Estas fortalezas y limitaciones deben estar además relacionadas con los objetivos, recursos y población a investigar (Sierra Bravo, 1982).

Entre los instrumentos más utilizados en el ámbito de la investigación están los cuestionarios y las entrevistas, entre otros como la observación, los experimentos o los *focus groups*.

La elección del cuestionario normalmente se hace en lugar de las entrevistas, a pesar de que algunos planteamientos metodológicos sugieren la utilización de ambos tipos de instrumento en una misma (Sierra Bravo, 1982).

Tuckman (1994) recogía una comparación entre las posibilidades de la entrevista y los cuestionarios.

Tabla 6: Características y posibilidades del cuestionario y la entrevista (Tuckman, 1994).

	ENTREVISTA	CUESTIONARIO
Personal necesario	Entrevistadores	Personal de oficina
Gastos principales	Pago de los entrevistadores	Imprenta, correo, encuestadores
Oportunidad de personalización	Amplia	Limitada
Número de encuestados	Limitado	Amplia
Proporción de respuestas	Buena	Pobre
Fuente de error	Entrevistador, instrumento, codificación, muestra	Instrumento, muestra
Fiabilidad	Bastante limitada	Bastante alta
Necesidad de poseer habilidad en la redacción	Limitada	Amplia

El cuestionario es una herramienta diseñada para la recolección de datos cuantitativos, y se utiliza mucho en la investigación, ya que es un buen instrumento de investigación para recolectar datos estandarizados y hacer generalizaciones.

El diseño del cuestionario debe reflejar los objetivos de la investigación, por lo que para establecer cuál es el instrumento más adecuado para la identificación de perfiles y competencias, se ha tenido en cuenta los indicadores de desempeño y el enfoque cualitativo y cuantitativo acorde al proceso de análisis, además de considerar el

momento en el que se ha establecido el análisis y el tipo de estudio que pretendemos realizar.

El cuestionario: consideraciones para el diseño y la validación

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI (2013), el diseño de cuestionarios es la macroactividad del diseño conceptual en la que se determinan: distribución de contenidos (temas y subtemas); identificación de variables y su clasificación, mediante redacción de preguntas específicas de fácil comprensión para el informante, así como sus opciones de respuesta.

Un cuestionario es un conjunto de preguntas que se presenta a las personas seleccionadas para obtener una respuesta (Kotler y Lane, 2006). Como se trata de un instrumento muy flexible, los cuestionarios son, sin duda, el instrumento más común para obtener información primaria. Según Arias (2015) es indispensable elaborar, probar y depurar los cuestionarios antes de aplicarlos a mayor escala. A la hora de preparar un cuestionario, el investigador debe seleccionar cuidadosamente la pregunta, el modo de plantearla, las palabras y su secuencia. En este orden de ideas, Anguita et al. (2003) explica que el objetivo que se persigue con el cuestionario es traducir variables empíricas, sobre las que se desea información, en preguntas concretas capaces de suscitar respuestas fiables, válidas y susceptibles de ser cuantificadas y para garantizar el éxito de aplicación a mayor escala del cuestionario existen varias opciones como la realización de un estudio piloto o el establecimiento de un juicio de valoración de expertos con el objetivo de que personas vinculadas al área de investigación constaten en qué grado, el cuestionario solicita la información que es requerida.

La realización de este tipo de estudios previos permite, entre otras cuestiones: evaluar la exactitud y corrección de los enunciados de las preguntas en términos de comprensibilidad y extensión, determinar la correcta categorización de las respuestas, detectar la existencia de reticencias por parte de los entrevistados hacia determinadas preguntas, así como valorar su secuencialidad (Arribas, 2004).

Antes de la redacción de las preguntas, se deben tener en cuenta las características de la población diana y el sistema de aplicación que va a ser empleado, ya que estos aspectos tendrán una importancia decisiva a la hora de determinar el número de preguntas que deben componer el cuestionario, el lenguaje utilizado, el formato de respuesta Anguita et al., (2003) o la secuencia en la que serán efectuadas las preguntas (Casas et al., 2003), entre otras.

En resumen, podemos concluir que para que el cuestionario proporcione información válida y relevante, debe examinarse con anterioridad no solo la muestra sino el modo en que serán planteadas las preguntas, utilizando las palabras adecuadas al público que deberá responder (Casas et al., 2003).

También es necesario definir la dimensión cualitativa y cuantitativa del cuestionario con respuestas de opción múltiple o con Escala Likert.

Morales (2011) indica las siguientes recomendaciones iniciales:

- Disponer de otras fuentes de información: Ya que podemos encontrar otros modelos

de preguntas, formas de presentar cuestionarios e incluso ejemplos de instrucciones a los sujetos.

- Evitar cuestionarios muy largos: Hay que procurar hacer cuestionarios de una longitud

razonable.

- Evitar preguntas redundantes: Tampoco hay que preguntar lo que ya se sabe.
- Evitar preguntas que complican los análisis: Como son las preguntas que requieren ordenar y las preguntas de respuesta abierta.
- Tener un plan inicial claro de la información que interesa recoger: Un plan inicial claro facilita el centrarse en las preguntas que realmente interesan

Por su parte, Casas et. al, (2006) señalan que el procedimiento de depuración de los cuestionarios supone varias fases:

- 1) La valoración experta. “Para poder asegurar que la herramienta mide, exactamente, aquellas variables que nos planteamos como objetivos a la hora de su diseño es imprescindible someterla a un proceso de validación y fiabilización” (Gisbert et. al, 2011).
- 2) La aplicación del instrumento a una muestra similar a la población de interés
- 3) Realización de las modificaciones necesarias en base a la información observada.
- 4) Nueva administración esta vez a un grupo piloto para detectar posibles dificultades que puedan surgir tanto de la integración del cuestionario como de la técnica para la recogida de información o problemas de comprensión.

FASES DEPURACIÓN CUESTIONARIO



Figura 9. Fases proceso depuración cuestionario según Casas et. al, (2006)

Peña y Casas (2007) describen en este contexto que el cuestionario ha encontrado en Internet un nuevo soporte de aplicación. A simple vista, podría decirse que el cambio es sólo de tipo instrumental: en el pasado el cuestionario llegaba al entrevistado por correo y hoy lo hace por Internet. El soporte es lo que cambia, pero el cuestionario como “contenido” permanece inalterable y el uso online del cuestionario ha reconfigurado el perfil de la técnica ya que ha transformado radicalmente su alcance y potencialidad.

Para realizar el proceso de recogida y análisis de datos de forma adecuada, actualmente los investigadores se valen de los avances de la estadística y los estudios

psicométricos de las ciencias sociales y la psicología, al hacer uso de los denominados métodos multivariados. En este contexto, entre los métodos más comunes se destacan por ejemplo el análisis factorial, la regresión múltiple, el análisis discriminante y el análisis multivariante de la varianza. Sin embargo, aunque cada una de estas técnicas con sus respectivas escalas es muy poderosa para analizar diversos datos, también es cierto que poseen la limitación de que solo pueden examinar una relación, en la misma unidad temporal.

En este sentido, es aquí donde algunas herramientas como el programa Excel de Microsoft cobran importancia, al permitir al investigador poder examinar simultáneamente diversas relaciones y a la vez el poder analizar no solo la estadística descriptiva sino la relación de variables.

Tras la revisión de los instrumentos para el análisis de perfiles y habilidades y la descripción del cuestionario como herramienta principal, en el siguiente capítulo será abordado el tema del análisis de los perfiles de educadores científicos, sus habilidades y las dificultades que, según su opinión, encuentran en la divulgación de la Nanociencia en eventos presenciales dentro del contexto de la educación no formal.

4.1.2. Diseño y validación del cuestionario

En el caso de este trabajo de investigación se optó por el diseño y aplicación de un cuestionario (Arias, 2015) *ad hoc* como instrumento para recopilar información respecto a los perfiles, habilidades y dificultades de los educadores científicos.

La elección de la herramienta queda justificada por los siguientes motivos:

- Su capacidad para recopilar información agrupada en función de los diferentes ítems o dimensiones de una forma más estructurada y coherente.
- Su capacidad para aportar información vinculada con el objeto de estudio de una forma más sencilla y rápida.
- Su capacidad para recopilar datos de diferentes variables de investigación.
- Su capacidad para combinar preguntas de diferentes formatos (abiertas, cerradas y de escala tipo Likert).

A continuación, se describen las fases que se siguieron para la elaboración de este cuestionario, teniendo en cuenta las consideraciones de Kotler y Lane (2006) y Gisbert et al. (2011) y Morales (2011):

Diseño del cuestionario

Se ha diseñado y validado un cuestionario *ad hoc*, que posteriormente ha completado personal dedicado a la divulgación de Nanociencia y Nanotecnología, con el objetivo de extraer información para caracterizar el perfil del educador científico de Nanociencia.

El diseño del cuestionario se realizó a través de la redacción de preguntas de elaboración propia correspondientes a 4 dimensiones establecidas y justificadas en base a la experiencia de más de 15 años en el diseño, ejecución y evaluación de formación de educadores y divulgadores científicos en el ámbito de la Nanociencia dentro del seno de la empresa especializada de divulgación científica ESCIENCIA EVENTOS CIENTÍFICOS S.L. de la que la autora es cofundadora. Además, se tuvieron en consideración otros trabajos que, aunque de índole diferente, podían presentar sinergias con el ámbito de esta investigación como por ejemplo el cuestionario de Lazcano-Pena et al. (2019), donde se exploran y analizan las valoraciones de una muestra de investigadores chilenos en las tareas de difusión y divulgación de los

resultados de su investigación a través del análisis de tres variables específicas: el posicionamiento personal frente a la comunicación de la ciencia, los obstáculos para la comunicación de la ciencia y las estrategias para potenciar la comunicación de la ciencia.

El cuestionario inicial constaba de 19 preguntas abiertas, agrupadas en 4 dimensiones que se describen a continuación:

- **Dimensión 1: Perfil del educador científico**

Esta dimensión pretende identificar un perfil tipo de educadores científicos. Para ello se incluyen preguntas de caracterización de la muestra (Anguita, Labrador et. al, 2003; Casas et al., 2006) como por ejemplo la edad, el sexo, la formación académica o la experiencia en divulgación, entre otras. Para analizar esta dimensión se proponen 5 preguntas abiertas:

- 1.1) Edad
- 1.2) Sexo
- 1.3) Formación universitaria (grado y año de titulación)
- 1.4) Otro tipo de formación
- 1.5) Experiencia como divulgador (en años)

- **Dimensión 2: Conocimientos sobre Nanociencia y divulgación de la Nanociencia**

Esta dimensión pretende explorar los conocimientos de los educadores sobre los contenidos a divulgar y cómo los expresa. Para ello se plantean preguntas de respuesta libre como la propia definición de Nanociencia o explicar en qué consiste el “efecto Lotus”. Para analizar esta dimensión se proponen 4 preguntas abiertas que requieren respuestas descriptivas.

- 2.1) Cómo explicarías con tus propias palabras qué es la Nanociencia

En primer lugar, se considera oportuno explorar el conocimiento que tiene el educador sobre conocimientos básicos de Nanociencia y cómo los divulga, concretamente nos permite explorar:

- Qué palabras utiliza para definirla.

- Si utiliza conceptos relacionados con la escala
- Cómo expresa la definición de nanómetro y
- Si establece una comparación de tamaños para comprender la escala en la que trabaja la Nanociencia.

2.2) Las propiedades de una sustancia pueden cambiar con variables como la temperatura o la presión, pero... ¿podrías explicar si cambian también en función del tamaño? Explica tu respuesta.

Esta pregunta permite indagar sobre conocimientos más avanzados sobre Nanociencia y sobre todo sobre la verdadera comprensión de lo que implica la escala nanométrica y por tanto, el fundamento de las propiedades que tienen las sustancias a escala “nano”, como punto de partida tanto para su estudio como para sus aplicaciones, para analizar como adapta esos conceptos más avanzados para su comprensión.

La explicación puede aportar ejemplos que denotarán mayor grado de herramientas para la divulgación de la Nanociencia.

2.3) ¿Cómo podríamos ver una estructura nanométrica?

Esta pregunta permite seguir indagando sobre la profundidad en el conocimiento de la materia, concretamente si el educador tiene conocimientos transversales sobre microscopía y cómo los expone, es decir, como describe los instrumentos utilizados y los fundamentos básicos que rigen la microscopia electrónica, así como la utilización de recursos como la comparación, por ejemplo, con la microscopía óptica o la visión humana.

2.4) ¿Podrías definir qué es el “efecto Lotus” y por qué se llama así?

Esta pregunta permite analizar sobre los conocimientos relacionados con las ideas previas y con herramientas para la divulgación como puede ser la explicación de aplicaciones de la Nanociencia basadas en ejemplos de la naturaleza, así como de las propiedades a escala macroscópica que son posibles gracias a la estructura a nivel nanométrico.

- **Dimensión 3: Conocimientos sobre Didáctica y dificultades en la divulgación**

Esta dimensión pretende determinar los conocimientos en didáctica de los educadores encuestados. Para ello se les plantea diseñar una actividad para divulgar la Nanociencia y se pregunta por los obstáculos y dificultades que creen que podría tener un determinado público objetivo. Para analizar esta dimensión se proponen 6 preguntas abiertas que requieren respuestas descriptivas.

Con estas preguntas se pretende obtener información sobre los conocimientos en didáctica que posee el divulgador.

3.1) ¿En qué modelo de enseñanza te basarías para enseñar un aspecto relacionado con la Nanociencia? Justifica tu respuesta.

Esta pregunta permite saber si el educador tiene conocimientos básicos sobre didáctica.

3.2) ¿Podrías señalar alguna dificultad vinculada con el aprendizaje de la Nanociencia para alumnos de Educación primaria? Justifica tu respuesta.

3.3) ¿Y de Educación secundaria? Justifica tu respuesta.

Las preguntas 2 y 3 pretenden indagar, por un lado, qué dificultades pueden presentarse en el aprendizaje o la enseñanza de la Nanociencia, pero también sobre el tipo de dificultad (si es de carácter conceptual y en ese caso dentro de qué disciplina básica se engloba), de tipo actitudinal, relacionada con la percepción hacia la Nanociencia, o incluso ética, si tiene que ver con cuestiones relacionadas con cuestiones sociocientíficas.

3.4) Describe tres razones por las que consideras importante el aprendizaje de la Nanociencia.

Esta pregunta busca conocer las razones por las que el educador considera importante el aprendizaje de esta rama de la ciencia y por tanto facilita información sobre el propio valor que el educador le otorga al conocimiento de este tema en concreto, con la intención de indagar, cómo sus propias percepciones sobre la importancia de la Nanociencia pueden influir en las dificultades detectadas.

3.5) ¿Cómo explicarías una actividad nanocientífica en el aula de primaria en torno al grafeno?

Esta pregunta busca obtener gran cantidad de información en función del grado de profundización en las respuestas. En primer lugar, los conocimientos para la adaptación curricular en función del nivel educativo, la vinculación con ideas previas, conocimientos sobre enseñanza y aprendizaje de las ciencias y metodologías utilizadas para su desarrollo en el contexto del aula (educación formal o no formal).

Con esta pregunta vamos a evaluar la labor divulgadora independientemente de la formación.

3.6) Diseña una actividad (con objetivos concretos) que usarías para introducir un tema concreto de Nanociencia a alguien que la desconoce por completo.

Esta pregunta nos permite evaluar la experiencia divulgadora del educador respecto al diseño de la acción. Se evalúan los objetivos, la metodología, los formatos que propone, la metodología y la adecuación de ambos para la consecución de objetivos. Es también valorable el grado de profundidad de la propuesta; si define público objetivo, tiempo, materiales a utilizar, guion de la actividad, título, formato, etc. Por tanto, aporta información sobre:

- Si el educador es capaz de identificar y definir objetivos vinculados con la didáctica de la Nanociencia.

- Si el educador posee conocimientos previos del tema.

- Dispone de herramientas para relacionar estos conocimientos previos con los usos o aplicaciones de las aplicaciones en la vida cotidiana.

Para medir la experiencia resulta de gran valía la indagación en la experiencia en el diseño de actividades de divulgación. Por eso se ha considerado oportuno incluir esta pregunta en el formulario.

- **Dimensión 4. Actitudes y motivación hacia la divulgación de la Nanociencia**

Esta dimensión pretende explorar las actitudes y la motivación hacia la tarea divulgadora y en cierta medida, hacia los contenidos a divulgar. Para ello se utilizan

preguntas como el grado de consideración que a su juicio tiene la divulgación científica entre la sociedad o si se plantean la tarea divulgadora como actividad profesional principal. Para analizar esta dimensión hemos propuesto 4 ítems.

4.1) ¿Cuál ha sido tu motivación principal para ser divulgador?

4.2) ¿Qué formación consideras básica para ser divulgador científico?

En concreto esta pregunta nos permite indagar en la opinión del encuestado sobre si es necesaria formación específica para divulgar además de los conocimientos propios.

4.3) Nombra las 3 principales aptitudes que según tu opinión debería tener un divulgador.

Para conocer la opinión del encuestado sobre si son necesarias aptitudes específicas para dedicarse a la divulgación.

4.4) ¿Consideras que la labor divulgadora está valorada en nuestra sociedad?

Para valorar la consideración social que percibe el encuestado sobre la divulgación científica y que nos pretende también obtener información sobre las evidencias que podrían justificar esa apreciación.

Validación del cuestionario

El cuestionario fue sometido a la validación de un equipo de expertos (Arias, 2015), para la cual se habilitó un apartado para expresar cualquier tipo de consideración o propuesta de mejora.

La realización de este tipo de estudio previo permite, entre otras cuestiones: evaluar la exactitud y corrección de los enunciados de las preguntas en términos de comprensibilidad y extensión, determinar la correcta categorización de las respuestas, detectar la existencia de reticencias por parte de los entrevistados hacia determinadas preguntas, así como valorar su secuencialidad (Arribas, 2004).

Para ello se siguieron los siguientes pasos:

1) Definición de criterios, selección y descripción del equipo de expertos

Antes de utilizar el cuestionario para la recogida de datos, este fue validado por profesionales de acuerdo con los siguientes criterios:

- Personas de diferentes perfiles y *background* formativo, que constituyen un equipo multidisciplinar que permite abarcar las diferentes facetas de la divulgación de la ciencia (comunicación, medios, didáctica, investigación, tecnología y aplicaciones, estadística y conocimiento científico de la materia).
- Profesionales de prestigio y expertos en las diferentes materias: Didáctica de las Ciencias Experimentales, Nanociencia y educadores científicos especializados en Nanociencia.

A continuación, se presenta la tabla donde se describen los perfiles de los expertos que llevaron a cabo la revisión de los cuestionarios.

Tabla 7. Perfiles de los expertos que realizaron la validación del cuestionario (elaboración propia).

PERFILES	FORMACION	PROFESION	SEXO
Experto 1	Ingeniería	Asesoría	Mujer
Experto 2	Química	Investigación	Mujer
Experto 3	Física	En paro	Hombre
Experto 4	Periodismo	Agencia comunicación	Mujer
Experto 5	Relaciones públicas y Marketing	Asesoría comunicación	Mujer
Experto 6	Filología	Autónoma	Mujer
Experto 7	Didáctica	Docente universitaria	Mujer
Experto 8	Química	Divulgador	Hombre

2) Definición de parámetros a revisar

Los expertos llevaron a cabo una revisión atendiendo a los siguientes parámetros:

- Adecuación del vocabulario
- Expresión con sus propias palabras del significado percibido y la redacción de cada ítem para verificar su correcta comprensión.
- Exactitud y corrección de los enunciados de las preguntas en términos de comprensibilidad y extensión (Arribas, 2004).
- Determinación de la correcta categorización de las preguntas

- Supervisión de las palabras utilizadas, el formato de respuesta y las instrucciones
- Detección de debilidades

Validación de contenido por expertos

Para llevar a cabo la validación de contenido se habilitó un apartado para cada ítem, donde se pudiese expresar cualquier tipo de consideración o propuesta de mejora en relación al mismo.

- Adecuación del vocabulario. Por ejemplo, en la dimensión de caracterización de la muestra, en la pregunta para seleccionar el “sexo”, se sugiere ofrecer la opción de elegir: “mujer, hombre u otro”.
- Expresión con sus propias palabras del significado percibido y la redacción de cada ítem para verificar su correcta comprensión. Por ejemplo, en la pregunta: “¿Cómo podríamos ver una estructura nanométrica?” se describe: “No sé si se pide una respuesta a cómo se puede ver la estructura a través de algún aparato, como un microscopio tipo el Titán, por ejemplo, o a que se podría “ver” mediante la fabricación de un modelo.”
- Exactitud y corrección de los enunciados de las preguntas en términos de comprensibilidad y extensión. Por ejemplo, “para la pregunta anterior se propone modificar la redacción por: ¿Se pueden ver las estructuras nanométricas? ¿Con qué instrumentos?”
- Determinación de la correcta categorización de las preguntas, para evaluar la idoneidad de las preguntas abiertas, donde se solicita una información al encuestado para que formule su propia respuesta y cerradas, para que seleccione una respuesta de un conjunto determinado de opciones. Igualmente, para validar la pertinencia de las escalas en los casos de preguntas tipo Likert.
- Supervisión de las palabras utilizadas, el formato de respuesta y las instrucciones. Por ejemplo, en la pregunta “¿Consideras importante tener conocimientos en comunicación?”, se consideró oportuno replantear su redacción para poder obtener un resultado más cuantificable, en lugar de un

simple “si/no”. Por ello la pregunta quedó de la siguiente manera: “¿En qué medida consideras importante tener conocimientos en comunicación?”, ofreciendo además una escala de respuestas de “nada importante” a “muy importante”.

- Detección de debilidades, como el ejemplo, el caso en el que los expertos consideraron que la pregunta: “¿Cómo explicarías una actividad nanocientífica en el aula de primaria en torno al grafeno?” podía carecer de sentido si el encuestado planteaba dificultades en la pregunta anterior “¿Se te ocurre alguna dificultad vinculada con el aprendizaje de la Nanociencia para alumnos de Educación primaria? Justifica tu respuesta”. Por otra parte, no se entendía el objetivo de la pregunta y en general planteaba dudas y entraba en conflicto con la pregunta siguiente “Diseña una actividad (con objetivos concretos) que usarías para introducir un tema concreto de Nanociencia a alguien que la desconoce por completo” que, por otra parte, era considerada más apropiada. En resumen, la pregunta daba lugar a confusión y la información relevante se recogía en la pregunta siguiente, por lo que se decidió eliminar del cuestionario.

Modificaciones del cuestionario en base a la validación

Se llevó a cabo un análisis individual de las revisiones de cada uno de los ítems en relación con la claridad y la pertinencia, con el objetivo de valorar cuáles debían mantenerse y/o eliminarse y qué cambios había que aplicar para la elaboración de la siguiente versión del cuestionario. Se recogieron y analizaros todos los comentarios aportados.

A continuación, se revisa cada una de las preguntas del cuestionario atendiendo a los comentarios y sugerencias propuestos por los expertos.

Dimensión 1

Atendiendo al objetivo de analizar el perfil de educador científico, se sugiere ampliar las variables relacionadas con la caracterización personal de la muestra. Esta sugerencia está alineada con una propuesta general de reconvertir las preguntas de la

primera fase (5 preguntas abiertas) en categorías que permitan su análisis estadístico. Esta sugerencia se considera apropiada y se implementa quedando así:

1.1) Edad: menor 18, 18-23, 23-25, 26-33, más de 33

Se decide incluir estas franjas de edad porque me permiten diferenciar entre: educadores que no han comenzado estudios superiores, estudiantes universitarios, estudiantes en los últimos cursos de carreras universitarias, estudiantes recién titulados, iniciando estudios doctorales o experiencia investigadora, con experiencia laboral vinculada y con experiencia laboral más amplia y vincular y cruzar datos con la pregunta de "Situación laboral actual".

1.2) En "Sexo", se ofrece la opción de elegir: Mujer, hombre u otro.

1.3) Ciudad de residencia

1.4) Formación universitaria (grado y titulación): Doctorado, Máster universitario, Postgrado, Licenciatura/Grado, Diplomatura universitaria, Formación profesional Grado Superior, Formación profesional Grado medio, Bachillerato, Sin estudios reglados, Otro.

1.5) Titulación

1.6) Experiencia en divulgador científica

1.7) Experiencia en divulgación científica (en años)

1.8) Situación laboral actual: Situación laboral actual, Personal (Funcionariado) en la Administración, Personal (Laboral) en la Administración, Empresaria/o, Autónoma/o, Empleada/o por cuenta ajena (contrato indefinido), Contrato fijo-discontinuo, Temporal, Contrato de formación, En prácticas, A tiempo parcial, En paro, Jubilación, Otro

1.9) ¿Tienes personal a tu cargo? No, Soy responsable de un equipo de trabajo, trabajo con un equipo en situación de igualdad, trabajo solo, Otro:

1.10) ¿Trabajas en colaboración con otras personas, empresas o entidades?, No, Ocasionalmente, Habitualmente, Con empresas, Con Administraciones públicas, Otro.

1.11) En caso afirmativo, ¿cuáles?

1.12) Tipo de público al que se dirige la divulgación: Alumnado de infantil, de primaria, de secundaria, de bachillerato, universitario, asistentes a talleres organizados por ..., indiscriminado...

Además, se decide incluir dos preguntas adicionales en esta categoría para conocer el alcance de la dedicación a la divulgación dentro del puesto de trabajo o profesión desarrollada, ya que se considera que esta información no se puede obtener únicamente con las preguntas anteriores.

1.13) ¿Cómo se relaciona tu actual puesto de trabajo con la divulgación científica?

Con las siguientes opciones:

- a) No se relaciona en absoluto, compagino la divulgación con mi trabajo principal
- b) La divulgación científica es mi trabajo principal, pero lo compagino con otros trabajos
- c) Mi dedicación a la divulgación científica es total pero no percibo ingresos por ello
- d) Me dedico íntegramente a la divulgación científica.

1.14) ¿Qué porcentaje de tu trabajo habitual estimas que se dedica a la divulgación científica?

Con las siguientes opciones:

- a) Menos del 25%
- b) entre el 25 y el 50%
- c) entre el 50 y el 75%
- d) más del 75%

Dimensión 2

PREGUNTA 2.1)

Se confirma la idoneidad de la pregunta en función del objetivo que es obtener información sobre si el encuestado posee conocimientos básicos sobre Nanociencia y su divulgación. También nos aporta información sobre su forma de presentarlos o expresarlos y sobre el tipo de estructuras, expresiones y palabras que utiliza.

PREGUNTA 2.2)

Esta pregunta también se mantiene intacta ya que todos los expertos coinciden en que sirve para indagar sobre si el encuestado posee conocimientos más avanzados sobre Nanociencia. Igualmente aporta información sobre la manera de divulgar contenidos que demandan conocimiento más avanzados en la materia.

Por otra parte, uno de los expertos sugiere modificar la redacción en los siguientes términos; en lugar de “...cambian también en función del tamaño” por “...cambian también al reducir su tamaño”. Esta propuesta no se considera apropiada ya que una misma sustancia en diferentes tamaños presenta propiedades diferentes, por lo tanto, no es sólo unidireccional (cuando se reduce el tamaño) sino comparativa, en función de los diferentes tamaños. Por esta razón se decide mantener el enunciado original.

PREGUNTA 2.3)

Aunque todos los expertos han entendido la pregunta de forma acorde a los objetivos de esta, una de ellas, indica lo siguiente:

“No sé si se pide una respuesta a cómo se puede ver la estructura a través de algún aparato, como un microscopio tipo el Titán, por ejemplo, o a que se podría “ver” mediante la fabricación de un modelo.”

Por ello se decide modificar el enunciado de la siguiente manera, para que no induzca a error:

“¿Se pueden ver las estructuras nanométricas? Explica tu respuesta”

PREGUNTA 2.4)

Esta pregunta demanda conocimientos más avanzados que las propias definiciones de la Nanociencia. Sirve para identificar además del grado de conocimiento si el educador conoce herramientas de divulgación de la Nanociencia vinculadas con conocimientos o ideas previas de los destinatarios.

Describir el efecto Lotus y de donde toma ese nombre, por un lado y el fenómeno en sí. Se decide implementar una sugerencia para que quede más claro qué se pide explicar, si se conocen estas dos dimensiones.

De esta forma, la pregunta se reformularía del siguiente modo:

“¿Sabes qué es el “efecto Lotus” y por qué se llama así? Explica en qué consiste este fenómeno.”

Dimensión 3

PREGUNTA 3.1)

Una de las expertas hacía la siguiente apreciación en referencia a los modelos de enseñanza:

“Supongo que esta pregunta es para conocer la formación del encuestado sobre cuestiones de didáctica de las ciencias. No estoy segura de que sea adecuado el planteamiento. Si va dirigida a divulgadores, ¿cómo divulgan?, a veces trabajan a partir de monólogos, o con apoyo de kits de actividades llamativas, por lo que no sé si tiene sentido preguntar por modelos de enseñanza. ¿A qué te refieres? ¿Modelos de transmisión-recepción, descubrimiento, indagación guiada?”

Se decidió mantener el enunciado ya que los ejemplos que se proponen en la respuesta concuerdan con los que se pensaron para la propia pregunta.

PREGUNTA 3.2)

Esta pregunta permite discriminar entre quienes han hecho divulgación en ciencia y quienes no la han hecho nunca y proporcionar información para la identificación de dificultades, uno de los objetivos de este bloque de la tesis.

La mitad de los expertos lo han comentado explícitamente en sus comentarios, el resto, aunque no lo ha hecho, ha contestado lo que se espera que contesten y que coincide con lo que se pretende, por lo que se decide mantener la pregunta.

PREGUNTA 3.3)

Esta pregunta está muy vinculada con la anterior así que los comentarios siguen el mismo análisis y evaluación. Se decide mantener la pregunta.

PREGUNTA 3.4)

Esta pregunta se ha considerado indispensable por la mayor parte de los expertos que así lo han aclarado explícitamente y permite verificar si el encuestado posee conocimientos y herramientas que le permiten conectar con los conocimientos previos de la audiencia sobre el tema en cuestión, para ser capaz de relacionarlos con los usos de la vida cotidiana, lo cual sería necesario en el caso de un divulgador.

También permite indagar sobre el valor que le otorgan a la divulgación de este tema en concreto, aunque algunos expertos consideran que se da por hecho en la pregunta que el encuestado lo considera importante.

Por estas razones se decide adaptar parcialmente la pregunta, quedando de la siguiente manera:

¿En qué medida crees que es importante la divulgación de la Nanociencia?

- a) Nada importante
- b) Poco importante
- c) Importante
- d) Bastante importante
- e) Imprescindible

3.5) Describe tres razones por las que consideras que es importante.

PREGUNTA 3.6 (3.5 según codificación antes de la revisión)

Los expertos consideran que no se entiende el objetivo de esta pregunta y en general plantea dudas y entra en conflicto con la pregunta siguiente, que, por otra parte, es considerada más apropiada. Por estas razones se decide eliminar esta pregunta del cuestionario.

PREGUNTA 3.7 (3.6 según codificación antes de la revisión)

Como hemos comentado en el apartado anterior, esta pregunta se considera que tiene más sentido que la anterior (3.5) ya que se trata de una cuestión más general y que aporta información equivalente.

Dimensión 4

PREGUNTA 4.1)

Esta pregunta demanda cuestiones personales y/o profesionales y puede aportar información adicional sobre aptitudes.

Se decide, por tanto, mantener la pregunta original.

PREGUNTA 4.2)

Siguiendo la sugerencia planteada por una de las expertas, se considera oportuno completar esta pregunta con una serie de preguntas complementarias planteadas en términos cuantitativos con el objetivo de obtener valores numéricos (porcentajes) para obtener más información que con “sí” o “no”.

De esta forma se decide reformular la pregunta y añadir cuatro preguntas adicionales, de la siguiente forma:

- 4.2) ¿Qué formación crees que debe tener un divulgador?
- 4.3) ¿En qué medida crees que es necesario tener conocimientos sobre el tema a divulgar?
- 4.4) ¿En qué medida es necesario tener formación didáctica?
- 4.5) ¿En qué medida crees que es necesario tener formación en comunicación?

PREGUNTA 4.6 (4.3 según codificación antes de la revisión)

Esta pregunta aporta información acerca de si el encuestado considera que hay que tener aptitudes específicas para dedicarse a la divulgación, más allá de la posible formación principal. Todos los expertos coinciden en que la pregunta está bien formulada y permite obtener información sobre lo que se pregunta por lo que se decide mantener la pregunta original.

PREGUNTA 4.7 (4.4 según codificación antes de la revisión)

Esta pregunta indaga sobre qué consideración social percibe el encuestado que se da a los divulgadores y que evidencias justifican la apreciación.

En la línea de las consideraciones propuestas para preguntas anteriores, se decide adaptar a una pregunta de carácter cuantitativo, quedando de la siguiente manera:

“¿En qué medida crees que la divulgación está valorada en nuestra sociedad?

- a) No se valora en absoluto

- b) No se valora tanto como debería
- c) Se valora de forma adecuada
- d) Está sobrevalorada.

Como esta tesis coincidió en parte de su desarrollo con la pandemia COVID-19, se consideró oportuno aprovechar este contexto para evaluar si estas percepciones hacia la divulgación de la ciencia habían cambiado tras esta crisis sanitaria. Por ello se decidió incluir dos preguntas adicionales en la dimensión 4, para indagar sobre esto.

4.9) ¿Crees que la crisis sanitaria por COVID-19 ha mejorado la valoración de la divulgación científica?

4.10) Si la respuesta anterior es “sí”, ¿en qué medida?

PREGUNTA 4.11 (4.5 según codificación antes de la revisión)

Esta pregunta permite indagar sobre si la labor divulgadora se considera una actividad temporal, para una etapa de la vida o si siempre se puede ser divulgador y por lo tanto se decide dejar con una pregunta con opción múltiple siguiendo estos parámetros.

- a) La considero una actividad temporal
- b) Me gustaría dedicarme profesionalmente a la divulgación, pero creo que se trata de un trabajo que solo es posible desarrollar en una etapa de la vida
- c) La divulgación es una salida profesional emergente
- d) Me gustaría dedicarme profesionalmente a la divulgación para siempre.

En resumen, tras la revisión del panel de expertos, el cuestionario experimentó los siguientes cambios:

En la sección 1, de caracterización de la muestra, se aumentó el número de ítems atendiendo a las sugerencias de los expertos de 5 a 14 preguntas y para facilitar el tratamiento de datos y se ofrecieron opciones de respuesta para facilitar el tratamiento de datos.

En la dimensión 2 se reformularon 2 de las 4 preguntas por cuestiones terminológicas y con el objetivo de aclarar el contenido de acuerdo con los expertos.

Con respecto a la dimensión 3 se mantuvieron todas las preguntas a excepción de una que fue reformulada y otra que fue eliminada porque era muy similar a otra, pero no era tan clara, quedando un total de 6 preguntas.

En la sección 4, se reformularon 3 de las preguntas, 1 de ellas por discrepancia entre los expertos y 2 que fueron adaptadas en base a las observaciones de los expertos, para mejorar la claridad de estas, pero sobre todo para incluir opciones de respuesta. Además, se incluyeron 6 preguntas adicionales, quedando un total de 10 preguntas en esta dimensión.

Una vez aplicadas las consideraciones de los expertos, se llevó a cabo un piloto del cuestionario con una persona del mismo perfil que los expertos que llevaron a cabo la validación. El cuestionario fue respondido por una mujer, con formación de Ingeniería Química y con experiencia en divulgación de la Nanociencia.

Esta prueba nos permitió verificar la adecuación de la estructura del cuestionario y de las preguntas en cuanto a redacción y contenido, así como en cuanto al objetivo de la idoneidad respecto a la información a recabar.

Elaboración de la versión definitiva del cuestionario

Una vez analizadas las respuestas y comprobado con la realización de este test que las preguntas se habían respondido de manera adecuada y no había añadido ninguna duda respecto al cuestionario, donde tenía oportunidad de hacerlo, se depuró el formato del cuestionario, eliminando las partes destinadas a la prueba piloto, quedando como resultado el formulario definitivo, que aparece disponible en el Anexo 1, con un total de 34 preguntas distribuidas de la siguiente manera:

Dimensión 1: 14 preguntas cerradas (opción múltiple)

Dimensión 2: 4 preguntas abiertas

Dimensión 3: 6 preguntas abiertas y cerradas con respuesta múltiple

Dimensión 4: 10 preguntas abiertas y cerradas con respuesta múltiple y escala Likert.

Las preguntas de la dimensión 1 incluye preguntas abiertas y cerradas, de selección múltiple. Las preguntas de las dimensiones 2 son preguntas abiertas y que requieren

de respuestas más descriptivas, al igual que ocurre con la mayoría de las preguntas de la dimensión 3 y la dimensión 4 combina preguntas abiertas y cerradas de opción múltiple y con escala tipo Likert.

4.1.4. Difusión del cuestionario y recogida de datos

Participantes/Muestra

El formulario fue contestado por un total de 29 personas, de edades comprendidas entre los 18 y los 52 años, de diferentes ciudades del territorio español y con dos participaciones internacionales (Inglaterra y Brasil), aunque siendo mayoritaria la participación de educadores de Zaragoza (13 participantes), y constituyendo por tanto, esta parte de la tesis, un estudio de caso o “sistema delimitado” (Smith, 1978), ampliamente aceptado como sistema de investigación para evaluar innovaciones educativas complejas en su propio contexto (Simon, 1980).

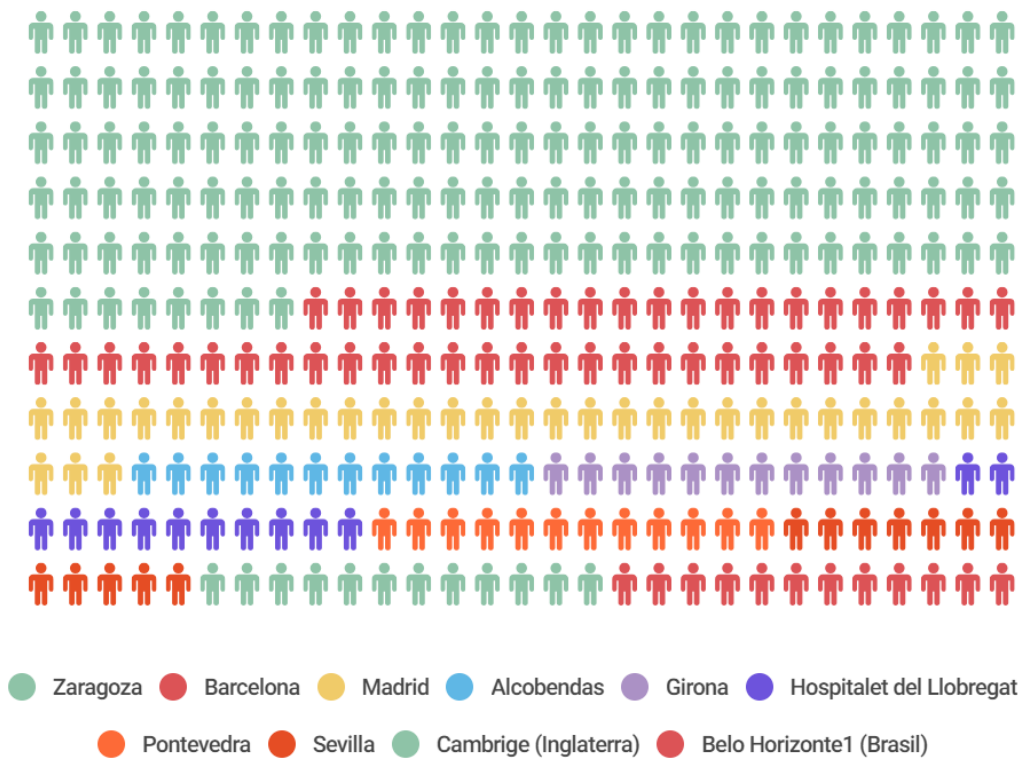


Figura 10, Gráfico ilustrado de las ciudades de residencia de los educadores de la muestra de estudio (elaboración propia).

De los 29 participantes, 7 personas se dedican profesionalmente a la divulgación de la Nanociencia (3 hombres y 4 mujeres) y el resto son recién titulados e investigadores en Nanociencia.

El formato elegido para la cumplimentación y recogida del cuestionario ha sido a través de la herramienta Google Forms, que fue difundido a través de diferentes canales (email a base de datos de educadores de ESCIENCIA EVENTOS CIENTÍFICOS S.L., RRSS como Twitter @JeruEsciencia, Instagram @JeruEsciencia y LinkedIn Jerusalén Jaime), así como a través de contactos directos de colaboradores. La realización de cuestionarios a través de Internet tiene algunas ventajas, tales como la rapidez y el menor coste económico, y desventajas como la menor aleatoriedad en la muestra y la menor tasa de respuesta de acuerdo con de Rada (2012). Se estima que la difusión tuvo un alcance de más de 500 personas.

Tratamiento de datos

Para llevar a cabo el tratamiento de datos de las preguntas de respuesta de opción múltiple se realizó una analítica descriptiva de los datos, así como el cruce de variables con ayuda del programa Microsoft Excel.

Para llevar a cabo el tratamiento de los datos de las preguntas cerradas se llevó a cabo una identificación de parámetros que permitiesen una codificación con la que se pudiese plantear un marco de construcción conceptual. Se identificaron y cuantificaron los siguientes parámetros asociados a las dimensiones 2 y 3 del cuestionario. Los resultados de las dimensiones 1 y 4 se analizaron de manera cuantitativa.

- Dimensión 2:
 - Palabras clave. Se ha llevado a cabo una cuantificación de diferentes palabras clave relacionadas con el área de estudio (estas palabras clave se han establecido de manera emergente, es decir, considerándolas como palabras clave, una vez analizadas las respuestas a las preguntas).
- Dimensión 3:
 - Inclusión de ejemplos. Se llevó a cabo una cuantificación de la relación de ejemplos o símiles que relacionasen el mundo a escala nanométrica o micrométrica con el macroscópico y que sirviesen de apoyo a la explicación, al igual que se consideraron ejemplos de aplicaciones en las que está presente la Nanociencia.

- Se analizaron las estrategias para identificar y trabajar en base a ideas previas de la población objetivo.
- Se recopilaron las dificultades identificadas por los educadores en función del público objetivo.
- Se identificación los objetivos y estrategias para el ejemplo de actividad propuesta.

Para el tratamiento y análisis de las respuestas se han seguido los siguientes pasos:

1.-Depurar las respuestas de Google forms. Para ello se han revisado las respuestas equivalentes pero que se habían contestado con palabras diferentes. También se han eliminado las respuestas que se habían completado con texto ilegible porque eran campos obligatorios.

2.-Revisión de la estadística descriptiva con las respuestas ya, que la versión de Google forms tenía errores, principalmente derivados de que preguntas planteadas con opción de respuesta abierta, representaban el mismo parámetro.

3.- Elaboración de tablas de frecuencias absolutas, para determinar el número de veces que aparece un determinado valor en el caso de las preguntas cerradas y se han elaborado las correspondientes tablas de frecuencias expresándolas en porcentajes.

4.- Elaboración de gráficas correspondientes a las frecuencias en porcentajes de las preguntas cerradas.

3.- Cruce de variables de preguntas cerradas para determinar resultados adicionales al punto anterior con el objetivo de detectar resultados significativos de la muestra, con respecto a los perfiles expertos de la muestra.

4.-Identificación de los resultados relevantes del cruce de variables.

4.-Revisión de preguntas abiertas de los expertos. Para ello, se llevó a cabo una lectura general para identificar tendencias de respuesta, para después llevar a cabo una revisión exhaustiva de las respuestas de cada pregunta abierta.

5.-Identificación de parámetros que permitan una codificación de las preguntas abiertas en base a las respuestas planteadas por los perfiles expertos, de forma que, a

través de esta codificación, se planteó un marco de construcción conceptual para llevar a cabo el análisis de los datos desde la metodología de la teoría fundamentada.

A continuación, se procedió a identificar y cuantificar los siguientes parámetros:

- Palabras clave. Se ha llevado a cabo una cuantificación por pregunta de forma individual y en global para todas las preguntas, de diferentes palabras clave relacionadas con el área de estudio. Después se seleccionaron las más abundantes y se cuantificaron en la muestra de estudio.
- Inclusión de ejemplos. Identificación y análisis de ejemplos o símiles que relacionen el mundo micro con el macroscópico y que sirvan de apoyo a la explicación.
- Identificación de ejemplos de aplicaciones en las que está presente la Nanociencia.
- Estrategias para identificar y trabajar en base a ideas previas del público objetivo.
- Identificación de objetivos y estrategias para su consecución.

CAPÍTULO 4.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN CUESTIONARIO

En este capítulo, se presentan las respuestas al cuestionario contestado por los educadores científicos, agrupando las respuestas de acuerdo con las dimensiones establecidas en el diseño de este cuestionario.

- Dimensión 1: Perfil del educador científico

De acuerdo con las respuestas de esta dimensión, se encuentra una equidad de género, siendo el 55% mayores de 33 años. Casi el 45% de los participantes pertenecen a la comunidad de Aragón, teniendo el 52% de los encuestados, el grado de doctor (mayoritariamente son doctores en Química o Física).

La mayoría (70%) tiene experiencia en divulgación, algunos de ellos (14%) experiencia de más de 10 años y casi la mitad compaginan la tarea de divulgación con su trabajo principal, a pesar de que la mayoría indica que dedica a esta tarea menos del 25% de su jornada laboral. Casi el 59% trabaja en colaboración con otras personas, empresas o entidades habitualmente (la mayoría de las colaboraciones son entre instituciones universitarias, institutos de investigación, empresas y programadores culturales).

- Dimensión 2: Conocimientos sobre Nanociencia y su divulgación

Tras identificar las palabras clave más utilizadas en las respuestas a las preguntas de esta dimensión, destacan las 11 repeticiones de la palabra “nanómetro”, las 43 de la palabra “escala”, las 29 de la palabra “estructura”, las 6 veces que se han usado las palabras “microscopio electrónico”, las 4 veces de la palabra “mojar” y las 6 veces de la palabra “cuántica”.



Figura 11. Nube de frecuencias de palabras clave (elaboración propia)

- Dimensión 3: Conocimientos sobre didáctica y dificultades en la divulgación

Los educadores utilizan ejemplos o símiles que permiten vincular los mundos macroscópico y microscópico y ejemplos de aplicaciones de la Nanotecnología vinculados, bien a conceptos conocidos por los destinatarios, o con objetos o mecanismos cotidianos. Igualmente utilizan ejemplos de objetos o materiales populares a lo largo de la historia para explicar propiedades de los materiales en función de su estructura en la nanoescala. Por ejemplo, algunos de los citados son: *“.....el diamante y el grafito son diferentes por la manera en que se organizan sus cristales (organización subnanométrica); el cuarzo y el vidrio son distintos porque sus estructuras, a nivel micrométrico, son distintas. en otras sustancias, la diferencia se establece por las estructuras nanoscópicas”, “...es muy importante saber que la ciencia y la investigación están detrás de todo lo que forma parte de nuestro día a día. El chubasquero Goretex que te pones cuando llueve, el chip procesador del nuevo iPhone 12, el tinte del pelo que te gustaría probar y que le queda tan guay a tu amigo, o el televisor Qled de tu vecina donde sí se veía bien el capítulo 8x03 de “Juego de tronos”. Importante ver cómo se ha avanzado, qué implican esas mejoras y quiénes están detrás de todo ello. Ver que la persona que desarrolló los Oled también tiene dos brazos y dos piernas, y que se le daba mal el análisis morfosintáctico en el instituto, hará que los estudiantes de Secundaria eliminen barreras y entiendan son capaces de hacer ciencia.”*

Entre los 27 ejemplos recogidos, se presentan varias aplicaciones directas de la Nanociencia: nanorrecostrucciones, transistores, spray ignífugo, celdas fotovoltaicas, tratamientos tumorales, chubasquero, chip procesador iPhone 12, tinte de pelo, televisión Oled, copa Liturgio y vidrieras.

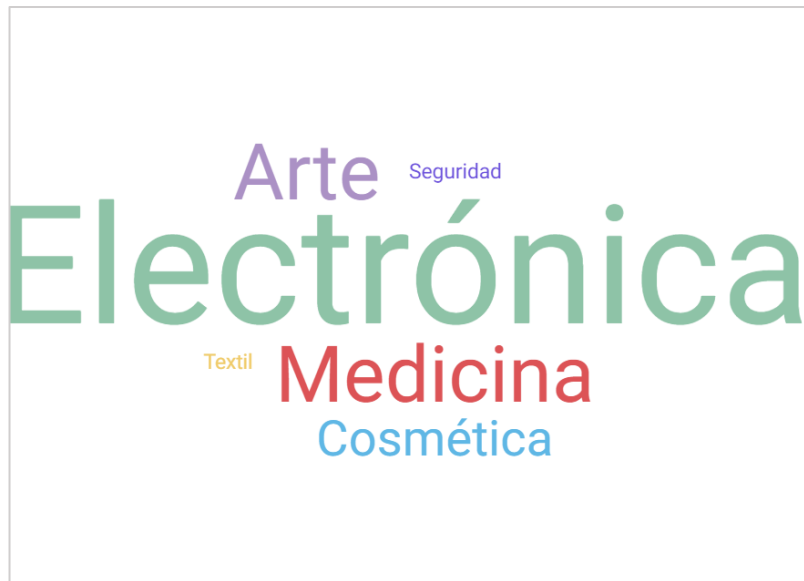


Figura 12. Nube de frecuencias de aplicaciones agrupadas por sectores (elaboración propia).

Para conocer las dificultades que los educadores encuentran a la hora de la divulgación, se les planteó la pregunta: “¿Podrías señalar alguna dificultad vinculada con el aprendizaje de la Nanociencia para alumnos de Educación Primaria o Secundaria? Justifica tu respuesta”.

En función de las respuestas se han agrupado las dificultades en los siguientes tipos:

- Dificultad para interiorizar la magnitud de la escala y escaso manejo de este orden de magnitud. D1
- Falta de conocimiento de conceptos previos. D2
- Utilización de conceptos abstractos. D3
- Fenómenos difícilmente explicables con ejemplos cotidianos. D4
- Falta de comprensión de la relación estructura-propiedades de la materia. D5
- Falta de visión espacial. D6
- Exceso de información. D7
- Contenidos fuera del currículo académico o no alineados con el mismo. D8
- Dificultades para adaptar los contenidos al nivel. D9
- Riesgo de crear una visión acientífica. D10
- Falta de motivación. D11
- Falta de referentes. D12

En la siguiente tabla se muestran los ejemplos más relevantes relacionados con estas dificultades, expresados por los encuestados en función del nivel educativo (Educación Primaria y Educación Secundaria Obligatoria).

DIFICULTADES	EP	ESO	EJEMPLO DE RESPUESTA
Dificultad para interiorizar la magnitud de la escala y escaso manejo de este orden de magnitud	X	X	SECUNDARIA: ...la escala nanométrica no se ve, necesitarían acceder a microscopios, espectrómetros... para poder “ver” los conceptos en lo nano, y poder relacionar esto con las propiedades de los materiales, la causalidad de los procesos físicos, químicos o biológicos... creo que esto es necesario para entender las implicaciones en la “vida real” de que los materiales tengan propiedades en la nanoescala.
Falta de conocimiento de conceptos previos	X	X	PRIMARIA. Quizá no sepan lo que son los átomos y mucho menos la cuántica. SECUNDARIA: sobre todo, en los cursos más bajos, entender qué es o por qué se enseña. Creo que algunos conceptos necesitan de mayor conocimiento previo para ser impartidos.
Utilización de conceptos abstractos	X	X	PRIMARIA: ...requiere mucha abstracción SECUNDARIA: ...conceptos abstractos, conceptos cuánticos
Fenómenos difícilmente explicables con ejemplos cotidianos	X		PRIMARIA: ... creo que una dificultad de la población en general a la hora de aprender nanotecnología está en que los fenómenos de la nanoescala no resultan intuitivos, lo que la hace más difícil en comparación con otras ramas de la ciencia en las que se pueden establecer ejemplos con fenómenos cotidianos.
Falta de comprensión de la relación estructura-propiedades de la materia		X	PRIMARIA:...hay evidentemente una dificultad debido a la inaccesibilidad a la observación directa de la interpretación de los fenómenos: creo que una aproximación al problema incidiendo en que, para muchas propiedades, no es tan importante cuáles son los constituyentes de la materia (átomos y moléculas), sino cómo se organizan (desde la formación de estructuras cristalinas, a la organización a escala nanométrica, micrométrica e incluso macroscópica), presentando ejemplos distintos sobre la forma en que estas organizaciones influyen, permite dar una aproximación global al tema, quedando la nanociencia como uno de los aspectos relevantes en el concepto de la relación estructura-propiedades de la materia.

Falta de visión espacial	X	X	PRIMARIA Y SECUNDARIA: Otro aspecto es la falta de visión espacial...
Exceso de información		X	SECUNDARIA: ...elegir la cantidad de información suficiente para que suene creíble pero no tanta, o muy complicada para que todos lo entiendan.
Contenidos fuera del currículo académico o no alineados con el mismo	X	X	PRIMARIA: la disponibilidad de materiales y conocimientos específicos por parte de los docentes, además que no está incluida en el currículum académico de primaria.
Dificultades para adaptar los contenidos al nivel	X	X	PRIMARIA: Es difícil adaptar este tipo de contenido a estos niveles.
Riesgo de crear una visión científica	X	X	PRIMARIA Y SECUNDARIA: ...la dificultad de ofrecer solo aspectos más o menos espectaculares y meramente fenomenológicos de la nanociencia. Los alumnos podrán conocer (y hasta retener) los ejemplos concretos que se les presenten, pero no serán conceptos científicos, no se ajustarán a un modelo general sobre cómo está constituido el orden material de la naturaleza y nuestro entorno. Serán meras maravillas, de carácter anecdótico, que difícilmente ayudarán a una concepción general de una “cultura científica forma.
Falta de motivación		X	SECUNDARIA: ...en educación secundaria algunos conceptos clave quizá los dominan más. Pero aquí la dificultad está en motivarlos más, en que sientan que es una cosa atractiva, y útil. Que les guste.
Falta de referentes		X	SECUNDARIA: Mucho más atractiva todavía si eres capaz de verte reflejada en las personas que están detrás de los avances en nanociencia.

Tabla 8. Dificultades encontradas por los educadores en EP y ESO al divulgar la Nanociencia

- **Dimensión 4:** Actitudes hacia la divulgación de la Nanociencia

En relación con la importancia que creen que tiene la divulgación, un 38% considera la divulgación de la Nanociencia como “imprescindible”, siendo la mayoría de ese porcentaje, mujeres. Los hombres, la consideran “importante”. Sobre la percepción de la divulgación en la sociedad, casi el 80% opina que no se valora como debería, aunque más del 62% piensa que esta valoración ha mejorado tras la pandemia.

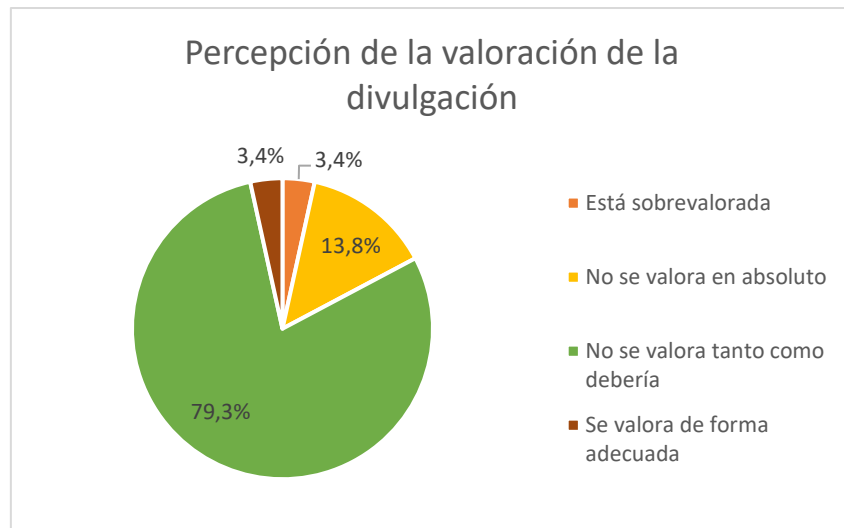


Figura 13. Percepción de la valoración de la divulgación en la sociedad

El 60% de ellos afirma que ha mejorado en una medida de 4 sobre 5.

A continuación, se muestra la importancia que los encuestados otorgan (en una escala del 0 al 5, siendo 5 la importancia más alta) a tener conocimientos para llevar a cabo la divulgación sobre: contenidos científicos (color verde), de didáctica (color naranja) y de comunicación (color azul).

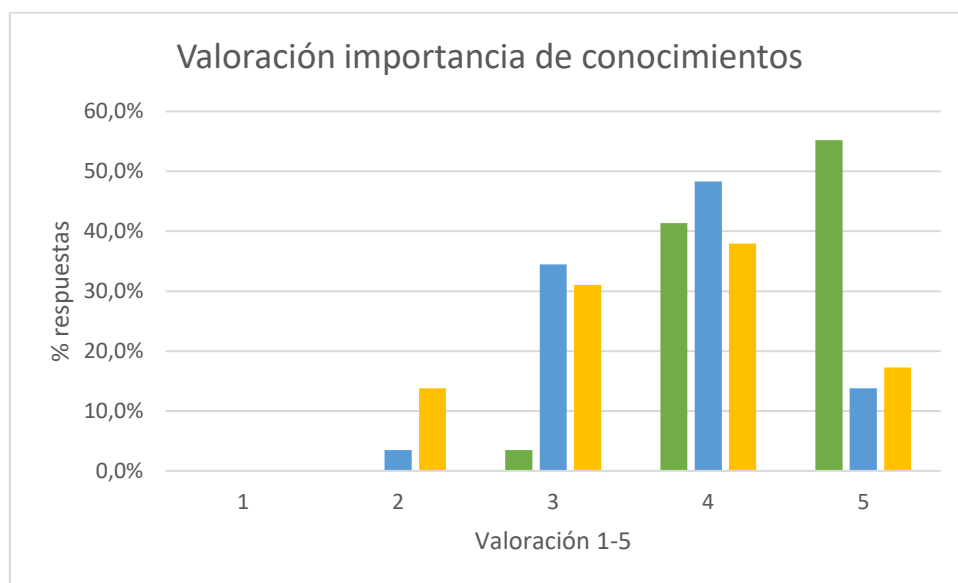


Figura 14. Valoración de la medida en la que los educadores consideran importante poseer conocimientos de los contenidos a divulgar (verde), de didáctica (naranja) y de comunicación (azul).

En este caso, presentamos la gráfica con la percepción de los encuestados sobre cómo está valorada la divulgación científica entre la sociedad.

Cruce de variables

A continuación, se presentan los resultados más reseñables de los cruces de variables:

Titulación y experiencia en divulgación y Titulación y grado académico

El 63% de los encuestados que tienen experiencia en divulgación tienen titulación de Química o Física con el grado académico de Doctor (10 de los 14 doctores), dado que una respuesta de grado académico “doctor” no identifica en que titulación).

Experiencia y relación del puesto con la divulgación

El 84,61% de los participantes con experiencia en divulgación, la compaginan con su trabajo principal.

Experiencia y porcentaje de la jornada laboral dedicado a la divulgación

El 60,86 de los participantes con experiencia le dedican menos de un 25% de su jornada laboral.

Experiencia y valoración de la importancia de competencias

Los participantes que asignan mayor importancia a tener conocimientos de las tres competencias pertenecen mayoritariamente a aquellos que tienen experiencia en divulgación de la Nanociencia, siendo el item más necesario, según estos, el de tener conocimientos sobre la materia a divulgar, en este caso, la Nanociencia, el segundo, tener conocimientos de didáctica y el tercero, conocimientos en comunicación.

Experiencia y percepción de la valoración de la tarea divulgadora

De los educadores que tienen experiencia en divulgación científica de la Nanociencia, más del 50% creen que no se valora tanto como debería.

Años de experiencia y valoración de la labor divulgadora

Los participantes que tienen menos de un año de experiencia en divulgación (el menor grado de experiencia de las opciones posibles), son los que en comparación valoran mayormente tener conocimientos del contenido a divulgar.

Discusión resultados cuestionario

Para llevar a cabo la discusión de resultados sobre el análisis de perfiles y obstáculos, seguiremos la estructura a través de las dimensiones descritas con anterioridad.

Dimensión 1

Del análisis detallado de los cuestionarios hemos extraído un “perfil tipo” de educador de Nanociencia: mayor de 33 años, igualdad de género, doctorado, con formación sobre todo en Ciencias Físicas y Químicas, con experiencia de más de 4 años en divulgación científica, con trabajo en la Administración (funcionariado o laboral), con responsabilidad en la gestión de equipos de trabajo, que compaginan la divulgación con su trabajo principal, a la que dedican menos del 25%, consideran que la divulgación en Nanociencia es imprescindible y que es necesario contar con conocimientos del tema a difundir y formación en didáctica y en comunicación (Grosso Mesa, 2017; Serena y Tutor, 2011), y que la divulgación no se valora tanto como se debería ((Hvidfelt Nielsen, 2010), posiblemente porque todavía no se ha consolidado en el mundo científico la necesidad de aprender a transmitir sus hallazgos (Bik y Goldstein, 2013; Gaytán Guía, 2016).

Del análisis también se desprende que el perfil de doctorandos que divulgan Nanociencia es muy similar al de los expertos, lo que podría ser un indicativo claro de que es necesario poseer conocimientos avanzados de los contenidos científicos para divulgar la Nanociencia con un objetivo educativo.

El perfil encontrado presenta similitudes con el descrito por Alonso (2022) en su estudio sobre los perfiles de participantes en acciones de comunicación de la I+D+i de universidades españolas. Por otra parte, se establece una diferencia con respecto al género ya que en nuestro caso no se han encontrado diferencias significativas, posiblemente por tratarse de una muestra menos representativa.

La experiencia en divulgación de la Nanociencia podría respaldar la calidad de la labor divulgadora ya que la divulgación científica en formatos presenciales mejora con la práctica (Blanco, 2004).

La valoración de los conocimientos en comunicación y en didáctica, vendría a respaldar la necesidad de formación en estos ámbitos (Navarro, 2021; Sánchez-Mora y De

Francisco, 2013) y el hecho de que la falta de formación contribuye a considerarse una sobrecarga a las demandas y exigencias de las funciones tradicionales de los divulgadores (Torres, Fernández- Esquinas et al., 2011; Serena y Tutor, 2011) y por ello la mayoría coincide en que la tarea de divulgación de la Nanociencia no se valora como debería (Hvidfelt y Nielsen, 2010).

El elevado porcentaje de encuestados que trabajan en colaboración (habitual y ocasional) con otras personas, empresas o entidades podría ser un reflejo de lo importante que es el trabajo en equipo en el campo de la investigación y, por tanto, podría ser un elemento clave también en la divulgación científica.

Dimensión 2

Los educadores que han formado parte del estudio poseen conocimientos sobre los contenidos científicos a divulgar y utilizan una serie de palabras clave a la hora de divulgar la Nanociencia, siendo los conceptos de “escala”, “estructura” y “nanómetro” los más abundantes, lo que podría apuntar a la necesidad de, por una parte, indagar en estrategias efectivas para la trasposición didáctica de estos conceptos como base para la comprensión de la Nanociencia, así como para minimizar los obstáculos epistemológicos que supone su comprensión (Sanchez-Mora, 2011).

Dimensión 3

Los educadores utilizan ejemplos o símiles que permitan vincular los mundos macroscópico y microscópico y ejemplos de aplicaciones de la Nanotecnología vinculados, bien a conceptos conocidos por los destinatarios o a través de objetos o mecanismos cotidianos (Rubiano, 2013).

Igualmente, utilizan ejemplos de objetos o materiales “famosos” a lo largo de la historia, como la copa de Liturgo, para explicar propiedades de los materiales en función de su estructura en la nanoescala.

En cambio, se echa en falta en el diseño de actividades la escasa o nula definición de objetivos en el planteamiento de las actividades y la ausencia de estrategias para la adaptación de la divulgación en función del público objetivo.

Respecto al público destinatario de las acciones de divulgación, se muestra una focalización de actividades hacia público estudiante y a público de actividades organizadas por administraciones, en comparación con la que se realiza para estudiantes de Formación Profesional y para empresas privadas o sectores profesionales. Se plantea la duda de los motivos de esta focalización ya que la divulgación y la docencia están tan unidas y apenas existe divulgación con objetivos más amplios o incluso estratégicos.

También sorprende la escasa divulgación para público general para ampliar conocimiento sobre temas de interés general o para públicos más alejados de la ciencia. Esto contrasta con la realidad ya que sí que existen iniciativas (Prácticas para la difusión de la cultura científica FECYT).

Las dificultades registradas se podrían agrupar a su vez en tres grupos en función quién presenta los obstáculos:

- Dificultades de los receptores de la divulgación, como por ejemplo la falta de conocimientos previos, el nivel de abstracción necesario o el escaso manejo de la escala nanométrica (Cascarosa et al., 2022; Crone y Koch, 2006).
- Dificultades de los educadores, como la dificultad para la adaptación de los contenidos en función del nivel (Serena y Tutor, 2011) o el riesgo de divulgar una visión acientífica de la Nanociencia, y
- Dificultades de contexto, como la falta de alineación entre los contenidos de la Nanociencia y el currículo académico (Serena y Tutor, 2011).

Dimensión 4

El hecho de que poquísimos encuestados se dedican a la divulgación científica como trabajo principal y la mayoría de ellos la compaginan con su trabajo principal podría ser un indicativo de que es difícil vivir de la divulgación.

Cabe destacar la diferencia entre los encuestados con menos de 1 año de experiencia en la divulgación científica frente a los que tienen más o muchos más años de experiencia en divulgación científica frente a la visión de aspectos globales. Esto nos lleva a reflexionar sobre si la razón es que se trata de educadores “más frescos” y que por tanto muestran mayor entusiasmo y por tanto que pudiese existir un síndrome de

burn-out en el ámbito de la divulgación o que los divulgadores más expertos no sienten que la divulgación esté valorada socialmente, como debería.

El hecho de que los educadores perciban que esta valoración ha mejorado tras la pandemia, podría deberse a la contribución de la divulgación a la cultura científica de la sociedad puede ayudar a combatir la desinformación en temas de interés (López-Borrul, 2020).

Por último, cabe especial consideración que, dada la importancia otorgada a la necesidad de tener conocimientos sobre el tema a divulgar, formación didáctica y formación en comunicación, nos planteemos la necesidad de seguir investigando y evaluando la divulgación y a los divulgadores (Reynoso, 2008a; 2008b) para ofrecer opciones de formación que permitan desarrollar esas competencias y habilidades.

**BLOQUE 5: FORMACIÓN DE EDUCADORES
CIENTÍFICOS**

**CAPÍTULO 5.1. METODOLOGÍA PARA EL
ANÁLISIS DE LA FORMACIÓN DE EDUCADORES
CIENTÍFICOS DE NANOCIENCIA**

5.1.1. Instrumentos para el análisis

Partiendo del enfoque constructivista del aprendizaje, Jorba, Gómez y Prat (2000) relacionan las habilidades cognitivas que están en la base del aprendizaje (analizar, comparar, clasificar, identificar...) con determinadas habilidades cognitivo-lingüísticas (describir, definir, explicar...) que determinan diferentes maneras de aprender los contenidos.

El análisis de estas estrategias cognitivo-lingüísticas puede ser enfocado desde diferentes metodologías y perspectivas como la hermenéutica, el análisis de discurso o el análisis de contenidos y que pueden estar asociadas entre ellas (Sayago, 2014).

El análisis de discurso es una técnica o una metodología de análisis, que puede ser utilizada tanto en una investigación cualitativa como cuantitativa (Sayago, 2014) aunque no permite emparejar de manera automática un aspecto del objeto estudiado con un valor de una variable, ya que, entre ambos, debe existir una tarea de interpretación que no se puede obviar. Esta tarea vendrá determinada por la coherencia teórica de cada disciplina que contribuye a generar una conceptualización sofisticada de los discursos estudiados.

La complejidad teórica de esta técnica depende de la cantidad de nociones que pueden constituir categorías y subcategorías, unidades de análisis y variables.

Para llevar a cabo este análisis es necesario realizar dos procesos:

- Proceso de codificación: identificando y etiquetando un pasaje o fragmento y
- Proceso de desagregación: extractando los pasajes textuales de acuerdo con la categoría buscada.

La formación para la divulgación científica puede englobarse dentro de la categoría de discursos especializados, por lo que nos centraremos en el análisis de discurso y contenido.

El análisis de discurso es compatible tanto con estrategias cualitativas como cuantitativas de investigación, por lo que puede utilizarse esta técnica en el proceso de construcción de datos.

Siguiendo el autor citado, podemos definir los siguientes ítems de análisis:

- Pertinencia semántico-proposicional: relación entre la información dada como argumento y la información dada como consecuencia de ese argumento
- Claridad estilística: formulación ordenada y relativamente sencilla de una idea
- Efecto retórico: orientación expresiva al logro de un impacto emotivo y conceptual.

El análisis del discurso “es un instrumento que permite entender las prácticas discursivas que se producen en todas las esferas de la vida social en las que el uso de la palabra –oral y escrita– forma parte de las actividades que en ella se desarrollan” (Calsamiglia y Tusón 2007) y se puede aplicar en muchos ámbitos, como en nuestro caso, a la divulgación científica.

Pero el mensaje científico y en general, los textos de especialidad presentan algunas características particulares como la gran densidad conceptual, el control de la estructura conceptual del texto por parte del especialista y su reformulación en función de las características del receptor (especialista, aprendiz o no especialista).

El conocimiento de los especialistas ha dejado de ser uniforme y desigual en cuanto a extensión y profundidad y por ello la forma natural de adquisición de conocimiento especializado corresponde al contexto de la educación formal, aunque debemos tener en cuenta que esta diferencia de conocimientos no desestima la presunción de que para ser un especialista hay que conocer la materia y controlar su estructura y cambios (Cabré, 2002).

Por otra parte, existe una gran diversidad en lo que se refiere a conocimientos, capacidades, intereses y desempeño de estudiantes universitarios de carreras científicas. En general su formación académica, los lleva a usar demasiados tecnicismos o dar explicaciones que son adecuadas entre iguales, pero no para el público general. De hecho, los mediadores de museos de ciencia que se consideran mejores estudiantes (basado en sus calificaciones), no son necesariamente los mejores en la labor de mediación. En cambio, los que destacan por las características buscadas en procesos de selección, como vocación de servicio, empatía y habilidades comunicativas, suelen tener mayor aceptación del público. Pero en todo caso, también es indispensable que tengan una buena cultura científica, ya que se ha observado que,

si no es así, se tergiversan conceptos o se transmiten ideas equivocadas. Todos estos factores deben ser tomados en cuenta en el diseño de programas de capacitación (Aguilera Jiménez, 2017).

En resumen, es el especialista quien controla la estructura conceptual y el valor de los conceptos expresados por términos o unidades de significación especializada, tanto en cuanto a su contenido como en cuanto a su forma y debido a esa gran densidad conceptual y a la necesidad de utilizar procedimientos metadiscursivos que favorezcan la comprensión por parte del oyente de un tema técnico que en ocasiones no conoce, la definición (como proceso discursivo con una determinada forma lingüística) es utilizada con frecuencia, más en textos expositivos que en textos argumentativos y más en ámbitos de divulgación que en ámbitos de comunicación entre especialistas. Dicho de otra manera, aun dentro del género de texto explicativo un artículo de investigación seguirá un modelo prototípico (explicación científica) e incluso normalizado; el artículo de divulgación, en cambio, presentará una explicación didáctica en la que se utilizará la definición (y la reformulación) en mayor medida que en otros textos u otras situaciones comunicativas, aunque el fin sea siempre explicar.

Debemos en primer lugar tener en cuenta que en ese texto expositivo-explicativo (forma que habitualmente adquiere el texto científico-técnico en su vertiente de divulgación), hay un esfuerzo máximo de objetividad pues su finalidad es “explicar” el conocimiento a no especialistas. Los textos expositivos “se ajustan a cinco maneras básicas de organizar el discurso: colección, causa-consecuencia, problema-solución, comparación, descripción” (Álvarez Angulo, 1996). La definición va estrechamente ligada a la descripción, e igualmente a la ilustración, especialmente en textos orales (estrategias con fines mostrativos que permiten la aprehensión del concepto mediante imágenes u objetos mostrados). La finalidad de estos textos es la de informar, aportar conocimientos y transmitir saberes, y habitualmente parten de los conocimientos previos del receptor. Además, deben engarzar los conocimientos previos y los nuevos conocimientos mediante determinadas estrategias lingüísticas como las que recoge Gastañares et al. (2012):

- 1) Conectores lógicos y organizadores textuales. En lo referente a la definición como función retórica específica los conectores más utilizados son los explicativos, que permiten una transformación parafrástica. En los textos que hemos analizado son frecuentes: es decir, por decirlo de alguna forma, podríamos decir que...
- 2) Repetición de conceptos.
- 3) Reformulación intradiscursiva monologal (el autor reformula la definición para adecuarla al receptor) o dialogal (el autor reformula la definición respondiendo al feed-back del entrevistador, que por medios extralingüísticos o por medio de una pregunta manifiesta su dificultad para aprehender el concepto).

La definición tiene por tanto el objetivo de facilitar la comprensión de un término desconocido y consiste en construir frases con la ayuda de términos conocidos, a través de estrategias como la sinonimia, la antonimia y la ejemplificación.

Por tanto, partimos de la base de que la propuesta de Jorba, Gómez y Prat (2000) para la adquisición de una mayor competencia lingüística es también aplicable al comunicador que pretende adecuar su producción a un tipo de audiencia específico (aprendiz o no especialista). El divulgador deberá pues aprender a establecer semejanzas y diferencias, agrupar por categorías y subcategorías, reconocer las propiedades esenciales y, en definitiva, producir un texto comunicativo con la terminología adecuada. Si partimos de que definir es expresar las características esenciales, necesarias y suficientes de un concepto para que sea el que es y no otra cosa, veremos que el definir, como estrategia comunicativa y didáctica, ocupa un lugar preeminente en un modelo de aprendizaje concéntrico y acumulativo.

Esta posibilidad de definir según condicionantes pragmáticos (conocimientos previos del receptor, objeto de la comunicación, etc.) permite adecuar la definición incluyendo más o menos rasgos y describiendo el concepto más o menos exhaustivamente. La aplicación didáctica es evidente, pues una explicitación excesiva de rasgos (descripción exhaustiva) en niveles básicos de enseñanza o en contextos de divulgación en los que el receptor es totalmente ajeno a los nuevos conceptos presentados provocaría una

comunicación con excesivo ruido y el oyente tendría dificultades para extraer la información más pertinente.

Debemos por tanto utilizar definiciones sucesivamente más complejas según vamos avanzando en el nivel de enseñanza o nos dirigimos a no especialistas más formados o a aprendices.

Por otra parte, el análisis de contenido es una técnica de investigación que se dedica a la descripción objetiva, cuantitativa y sistemática del contenido manifiesto de la comunicación (Berelson, 1952). Danielson (1967) diferencia el análisis científico del contenido del análisis informal que cualquier persona puede hacer al leer la prensa, revistas o escuchar conversaciones.

Algunos autores le otorgan, además, la categoría de método de observación, donde el investigador toma las comunicaciones producidas y realiza preguntas acerca de la misma (Budd y Thorp, 1967).

En todo caso, el análisis de contenido no forma parte del proceso de comunicación como tal, aunque emplea herramientas analíticas para introducirse en el proceso a través del mensaje y obtener información de primera mano acerca de la situación de la comunicación. A través de la investigación de esta información, se pueden realizar predicciones limitadas sobre la fuente y posiblemente sobre el receptor (Budd y Thorp, 1967). Si además se utiliza información adicional a cerca de la fuente, el medio, el receptor o la comunicación de doble vía, mejoran las predicciones sobre la fuente y el receptor, así como la relación entre ellos.

El análisis de contenido se ha usado para estudiar tendencias y variaciones de contenido en periódicos, revistas o programas de televisión, proporcionando información sobre las posibles reacciones al mensaje, es decir, ayudando a comprender el alcance del mensaje, también en el contexto de la comunicación y divulgación científica (Fierro y Alba, 1972).

La metodología para medir y clasificar el material a analizar contempla diferentes técnicas que van desde medir la frecuencia de algunos símbolos o claves, hasta determinar la estructura del contenido analizado en su conjunto. (Berelson, 1952).

Budd y Thorp (1967) afirman que el análisis de contenido debe ser clasificado cuantitativamente, por ejemplo, utilizando gráficas y porcentajes y cualitativamente, estableciendo categorías. Esta categorización debe cumplir con unas características según Rogers y Svenning (1969):

- 1) Exhaustividad: para que todos los adoptantes puedan ser clasificados
- 2) Exclusiva: mutuamente exclusiva para que ninguno de ellos pueda ser clasificado en más de una categoría, y
- 3) Derivada de un principio clarificador.

La información también se podría clasificar en categorías de diferente rango (primarias, secundarias, etc.) (Deuschmann, 1965), lo cual mejoraría la calidad del análisis.

Por ello para llevar a cabo el análisis de la formación basándonos en el discurso oral de la misma, atenderemos a los siguientes parámetros:

- 1) Definiciones. Identificación y análisis
- 2) Metáforas. Identificación y análisis
- 3) Repetición de conceptos. Identificación y cuantificación.
- 4) Cuestiones específicas del corpus de estudio y que se han mostrado relevantes en la fase anterior de esta tesis (cuestionarios de expertos), de manera cuantitativa:
 - Ejemplos y aplicaciones de la nanotecnología en nuestra vida diaria
 - Palabras clave
 - Cómo se afrontan las dificultades

CAPÍTULO 5.2. RESULTADOS DE LA FORMACIÓN Y DISCUSIÓN

En este apartado nos ocupamos del análisis de discurso y de contenidos dentro del ámbito que nos ocupa: el discurso de divulgación. Más concretamente, nos ocuparemos del análisis de discurso y contenidos de un texto oral de divulgación dirigido a investigadores de Nanociencia y orientado a su formación en herramientas para la divulgación de la Nanociencia.

Descripción

Esta sesión se llevó a cabo el 10 de abril de 2022 en el espacio de ocio científico Kikiriciencia (C.C. Los Porches del Audiorama. Plaza Carlos V, Zaragoza). La formación total tuvo una duración de tres horas y media pero la parte correspondiente al análisis duró dos horas y media. Los receptores de la formación fueron 4 jóvenes investigadores del INMA (Instituto de Materiales y Nanociencia de Aragón).

La formación fue impartida por la autora de esta tesis, licenciada en Químicas por la Universidad de Zaragoza, con postgrado en herramientas de comunicación para científicos, Diploma de Estudios Avanzados en Didáctica de las Ciencias Experimentales, con experiencia de más de 16 años en la divulgación de la Nanociencia de manera profesional a través de la empresa Esciencia Eventos Científicos S.L. y con experiencia en comunicación a través de la colaboración habitual en Aragón Radio (Agora y Despierta Aragón) y Aragón TV (informativos, Aragón en abierto, Esta es mi Tierra), ZTV (Ciencia de verano) y TV La Rioja, e idiomas (C1-inglés, C1-alemán y A2-francés).

Para realizar la formación se prepararon los siguientes contenidos:

- Audiovisuales:
 - Presentación con diapositivas de apoyo en formatos Power Point y PDF.
 - Audiovisuales: video hoja flor de Loto
- Materiales 3D
 - Materiales 3D: modelos moleculares
- Impresos
 - Álbum ilustrado: “El Mundo Secreto de Nanoelia”
- Herramientas didácticas:

- Herramienta tipo para la divulgación de la Nanociencia: proyecto Los Nanomartes: maletines experimentales y guía didáctica (descritos en el apartado bloque 6 de esta tesis)

Para llevar a cabo el registro de la formación se utilizaron un iphone 8 con trípode, una grabadora Olympus VN-731PC, un portátil DELL junto con un cañón y pantalla de proyección.

Para el análisis de la formación se utilizaron los datos recogidos en la grabación de la sesión, disponible en 3 archivos mp3 y la correspondiente transcripción completa del primer bloque de la formación (2,5h).

- Definición de aspectos a analizar

Se establecieron los siguientes aspectos a analizar:

- Palabras clave
- Definiciones
- Ejemplos
- Comparaciones
- Preguntas retóricas
- Superlativos
- Vinculación con ideas previas
- Codificación

Para ello se estableció la siguiente leyenda de color

- Leyenda de color

Palabra clave	Yellow
Definición	Green
Ejemplo	Grey
Comparación	Brown
Pregunta retórica	Magenta
Vinculación con idea previa	Cyan

Tabla 9. Leyenda de color para la codificación de parámetros a analizar en el discurso formativo

- Identificación y cuantificación de aspectos a analizar

Por las características de nuestra investigación únicamente se llevó a cabo el análisis cuantitativo de las palabras clave, que a su vez fueron seleccionadas atendiendo a los resultados de los cuestionarios de los expertos, obtenidos en el apartado anterior de esta tesis (análisis de perfiles y obstáculos). El resto de los parámetros fueron analizados de manera cualitativa.

- Estructura de la sesión y planificación:

La formación se dividió en una primera parte de carácter más teórica combinando locución con demostraciones y que constituye el objeto de análisis, con la presentación, introducción y objetivos de la formación, un índice de los contenidos a trabajar estructurados por secciones, con una duración de 2,5h y una segunda parte más experimental para aprender a manipular y realizar las actividades y experimentos propuestos en el maletín Los Nanomartes, de 1h de duración.

La sesión quedó estructurada de la siguiente manera:

BLOQUE 1:

PRESENTACIÓN

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

CONTENIDOS, estructurados a su vez en cinco secciones:

Definición y dimensión

Estructura atómica

Naturaleza y Nanociencia

Investigación y aplicaciones

Materiales sorprendentes

BLOQUE 2:

Parte práctica: proyecto Nanomartes

CONCLUSIONES Y DESPEDIDA

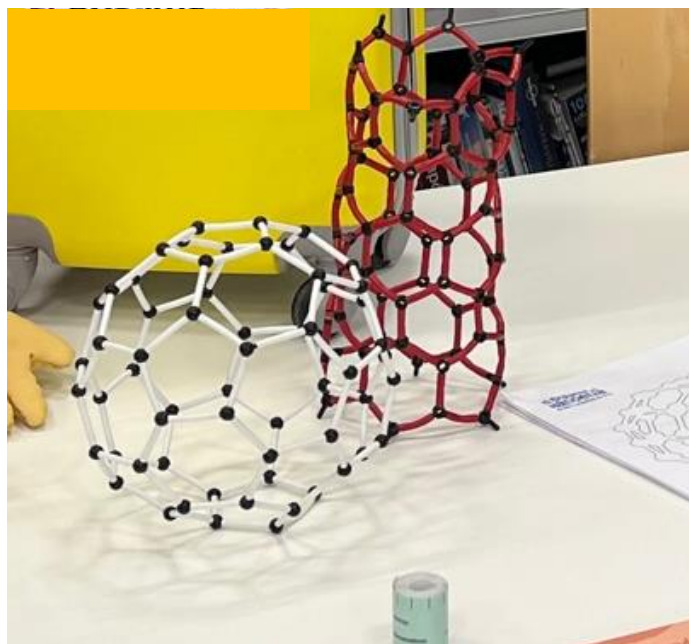
Para llevar a cabo la acción formativa se diseñó y utilizó la siguiente presentación, que se encuentra en el anexo 2.

En el Anexo 3 se recoge la transcripción de la locución y la codificación siguiendo la leyenda de colores propuesta.

Y, por último, se presentan las imágenes de los materiales de apoyo.

- Material:

Modelos moleculares Fullerenos y nanotubo de carbono 3D



Fotografía 11. Modelos moleculares fullereno y nanotubo de carbono

Maleta “Los Nanomartes” (que describiremos en el siguiente apartado)

- Audiovisual:

Video hidrofobicidad flor de Loto https://www.youtube.com/watch?v=Ah_mJBcWyDY

- Impreso:

Álbum ilustrado: “El mundo secreto de Nanoelia”



Fotografía 12. Album ilustrado “El mundo Secreto de Nanoelia”, 2021

Datos cuantitativos

Identificación de palabras clave: Nanociencia, nanómetro, escala, microscopio, fullereno, nanotubo, grafito, grafeno, hidrofobicidad, átomo, ordenadas por número de apariciones:

Palabra clave	Número de veces que aparecen
Nanociencia	23
Átomo*	21
Estructura*	20
Escala*	15
Microscopio* /microscopía	15
Nanómetro*	11
Grafito	10
Grafeno	10
Nanotubo	8
Fullereno	7
Nanotecnología	6
Hidrofobicidad / hidrofóbico	3

Tabla 10. Palabras clave identificadas y ordenadas por número de apariciones

Datos cualitativos

En la siguiente tabla recogemos las definiciones de las palabras clave en la formación y según la R.A.E.

CONCEPTO	DEFINICIÓN RAE	DEFINICIÓN FORMACIÓN
Nanociencia	Estudio de los objetos y fenómenos a escala nanométrica.	<i>Empezaremos siempre relacionándolo con el prefijo “nano” que viene del griego y que significa enano, una palabra que es muy intuitiva y que todo el mundo conoce, incluso los más pequeños porque a ellos mismos se les llama “nanos” cariñosamente y que viene a ayudarnos o servir de enganche para focalizarnos en las ideas previas. Siempre tenemos que orientar la divulgación hacia las ideas previas que tiene la audiencia, que siempre existen, siempre tienen, por muy básicas y fundamentales que sean. Por ello, el concepto nano nos indica que la nanociencia va a ser la ciencia que se ocupa de estudiar las cosas muy muy muy pequeñas.</i>
nanotecnología	Tecnología de los materiales y de las estructuras en la que el orden de magnitud se mide en nanómetros.	<i>la aplicación de ese estudio para obtener dispositivos, medicamentos, cosas electrónicas, basadas en esa ciencia. Sería como el proceso ingenieril que, una vez que tenemos ese conocimiento científico nos permite obtener aplicaciones que nos sirvan.</i>
nanómetro	Medida de longitud que equivale a la milmillonésima (10 ⁻⁹) parte del metro. (Símb. nm).	<i>, una forma de conectar en este momento con la audiencia dado que muchas veces no conocen la escala métrica decimal, sitúa o sirve mucho el hablar de que un niño pequeño puede no saber que es un nanómetro, pero cuando se va de viaje, habla de kilómetros. ¿a cuántos km de distancia está mi pueblo? O que el mismo se mide (su estatura) en centímetros y que en el mundo macro, en el mundo que podemos ver, hay diferentes tamaños porque nos puede parecer que una montaña es muy grande con respecto a nosotros mismos, pero si la comparamos con la tierra es muy pequeña, y a su vez la tierra que os parece muy grande, si la comparamos con el sol también es muy pequeña. Pues estas diferencias de tamaño ocurren también en el mundo microscópico,</i>

		<i>el que no podemos ver. Un objeto visto al microscopio nos puede parecer muy pequeño, (por eso necesitamos un microscopio para verlo), pero sería muchiiiiisimo más grande que un nanómetro).</i>
hidrofobicidad	<i>Dicho de una materia o una sustancia : Que no adsorbe el agua. Lámina hidrófoba, compuesto hidrófobo.</i>	

Tabla 11. Comparación de definiciones de conceptos clave

Nos centramos en las estrategias utilizadas para definir qué es un nanómetro y en realidad, cómo explicar la escala métrica decimal de una forma cualitativa a través de conceptos conocidos o ideas previas:

Para ello se utiliza la estrategia de saltos de magnitud de tres órdenes en cada caso realizando la comparación en tamaño de elementos conocidos de esas dimensiones.

Ejemplo: Persona-insecto: el insecto es mil veces más pequeño que una persona

“Vale, aquí hago un inciso porque ahora si cogemos el niño, como está representado en el dibujo (presentación) y el insecto, hemos reducido el tamaño tres veces 10, por lo tanto podemos decir **que un insecto es 1000 veces (10x10x10) más pequeño que un humano**, si reducimos nuevamente 10 veces, llegamos a 0,1ml, y las cosas de este tamaño, están en el límite de lo que podemos ver con nuestros ojos (esto lo podemos relacionar con temas de microscopía, como veremos luego): ejemplo, una parte del ala de un insecto, de una abeja, por ejemplo. Seguimos bajando y jugando a este juego, bajando de 10 unidades en 10 en tamaño, y cuando hayamos bajado otras 3 veces 10, nos encontraremos otra unidad muy utilizada como es la micra. Cosas que se pueden medir en micras las bacterias. Si reducimos 10 veces el tamaño de una micra, ya llegamos al punto al que ya no podemos ver ni siquiera con un microscopio óptico que es lo que necesitaríamos para ver todas las anteriores. Si seguimos bajando, podemos bajar, 10 veces una micra, llegando a orgánulos de una célula, después a los virus, que es algo que podemos utilizar porque también nos permite vincular con **ideas previas**, ya que todos nos hemos puesto enfermos alguna vez, entonces, no sabemos cómo es un virus, ni tenemos interiorizada su estructura ni mucho menos, ni nos hacemos una idea de su tamaño, pero sabemos que es algo que existe y que en algunas ocasiones hace que nos pongamos malitos, nos sirve como ejemplo de algo de ese tamaño, que la audiencia puede conocer y así bajamos otro bloque de 3 veces 10 llegamos al **nanómetro**.

Hago otro breve inciso y es que, si bajase 10 veces más del nanómetro llego al Amstrong, que es la distancia en la que se miden los **átomos**. Por lo tanto, el **nanómetro** sería lo que utilizaríamos para medir por ejemplo el diámetro de esta cadena de ADN, (la longitud puede ser hasta 2m). Hemos bajado 9 veces 10 desde el metro, por eso, el diámetro de una molécula de ADN, es mil millones de veces más pequeño que nosotros (que un niño).

Esta estrategia, sirve, como os digo, en función de la edad, para poder introducir el concepto de **átomo**, **mundo microscópico**, **mundo macroscópico**, **escala** e incluso **microscopía**: hasta donde podemos ver con nuestro ojo, hasta donde con un **microscopio** óptico, es decir que utiliza la luz, y donde este ya no me sirve, porque la luz es más grande que lo que quiero ver y por ello tengo que utilizar **microscopios** electrónicos (electrones en lugar de fotones).”

Para reforzar la explicación de este concepto se utilizan imágenes que representan una escalera para reforzar la idea intuitiva de que “al bajar por la escalera, disminuimos el tamaño”.



Figura 15. Ejemplo representación gráfica de la escala métrica (extraído del álbum ilustrado “El mundo secreto de Nanoelia”, (Jaime Lahoz, 2021))

A continuación, recopilamos la vinculación con ideas y conocimientos previos para explicar diferentes conceptos:

Concepto a explicar	Vinculación con ideas y conocimientos previos
nanómetro	<p><i>Empezaremos siempre relacionándolo con el prefijo “nano” que viene del griego y que significa enano, una palabra que es muy intuitiva y que todo el mundo conoce, incluso los más pequeños porque a ellos mismos se les llama “nanos” cariñosamente y que viene a ayudarnos o servir de enganche para focalizarnos en las ideas previas. Siempre tenemos que orientar la divulgación hacia las ideas previas que tiene la audiencia, que siempre existen, siempre tienen, por muy básicas y fundamentales que sean.</i></p>
Escala métrica decimal	<p><i>Para los que ya conocen algo de la escala métrica decimal, me gusta utilizarlos a ellos mismo como ejemplo y compararlos a ellos mismos (su tamaño) con objetos que vamos a ir reduciendo en un orden de 10 veces más pequeño en cada caso, utilizando ejemplos de cosas que midan esos tamaños. De tal forma, que un niño se mide en metros, si reduzco 10 veces, me voy al decímetro. Cosas que se podrían medir en decímetros serían un libro (aunque no estamos acostumbrados a medir en decímetros), si reducimos otros 10 órdenes de magnitud, nos vamos al cm, una moneda o un dado, si reducimos otras 10 veces, nos vamos al milímetro y cosas que tiene sentido medir en milímetros, por ejemplo, una hormiga o la punta de un lapicero.</i></p> <p><i>Vale, aquí hago un inciso porque ahora si cogemos el niño, como está representado en el dibujo (presentación) y el insecto, hemos reducido el tamaño tres veces 10, por lo tanto podemos decir que un insecto es 1000 veces (10x10x10) más pequeño que un humano, si reducimos nuevamente 10 veces, llegamos a 0,1ml, y las cosas de este tamaño, están en el límite de lo que podemos ver con nuestros ojos (esto lo podemos relacionar con temas de microscopía, como veremos luego): ejemplo, una parte del ala de un insecto, de una abeja, por ejemplo. Seguimos bajando y jugando a este juego, bajando de 10 unidades en 10 en tamaño, y cuando hayamos bajado otras 3 veces 10, nos encontraremos otra unidad muy utilizada como es la micra. Cosas que se pueden medir en micras las bacterias. Si reducimos 10 veces el tamaño de una micra, ya llegamos al punto al que ya no podemos ver ni siquiera</i></p>

	<p>con un microscopio óptico que es lo que necesitaríamos para ver todas las anteriores. Si seguimos bajando, podemos bajar, 10 veces una micra, llegando a orgánulos de una célula, después a los virus, que es algo que podemos utilizar porque también nos permite vincular con ideas previas, ya que todos nos hemos puesto enfermos alguna vez, entonces, no sabemos cómo es un virus, ni tenemos interiorizada su estructura ni mucho menos, ni nos hacemos una idea de su tamaño, pero sabemos que es algo que existe y que en algunas ocasiones hace que nos pongamos malitos, nos sirve como ejemplo de algo de ese tamaño, que la audiencia puede conocer y así bajamos otro bloque de 3 veces 10 llegamos al nanómetro.</p> <p>Hago otro breve inciso y es que, si bajase 10 veces más del nanómetro llego al Amstromg, que es la distancia en la que se miden los átomos. Por lo tanto, el nanómetro sería lo que utilizaríamos para medir por ejemplo el diámetro de esta cadena de ADN, (la longitud puede ser hasta 2m). Hemos bajado 9 veces 10 desde el metro, por eso, el diámetro de una molécula de ADN, es mil millones de veces más pequeño que nosotros (que un niño).</p> <p>Esta estrategia, sirve, como os digo, en función de la edad, para poder introducir el concepto de átomo, mundo microscópico, mundo macroscópico, escala e incluso microscopía: hasta donde podemos ver con nuestro ojo, hasta donde con un microscopio óptico, es decir que utiliza la luz, y donde este ya no me sirve, porque la luz es más grande que lo que quiero ver y por ello tengo que utilizar microscopios electrónicos (electrones en lugar de fotones).</p>
Fullereno (estructura y aplicaciones)	<p>Y os sorprenderá saber que muchas veces la audiencia adivina que se parece a un balón de futbol, porque como comentábamos antes, nos lo llevamos a su terreno, a cosas conocidas para ellos, conectando con las ideas previas. Y como cualquier balón de futbol es una estructura hueca en su interior y que además es muy ligera porque dentro está vacía, pero muy resistente porque está armado de tal forma que le confiere mucha estabilidad. Esto lo contamos para poderlo vincular con sus propiedades. Si hemos hablado de que es hueca, es más sencillo pensar que puede utilizarse para</p>

	<p>consistencia o resistencia a materiales (composites, por ejemplo) o para albergar cosas en su interior, como si fuese una cápsula que nos permite trasladar un medicamento, para hacer liberación controlada de fármacos.</p>
adherencia	<p>Otro experimento muy chulo es el relacionado con la adherencia, y esto da mucho juego al vincularlo con superhéroes (poderes como el de Spiderman, de poder subir por las paredes). En este caso, la inspiración la encontramos en el geco, que lo que tiene son unos pelitos que hacen que se adhiera a cualquier superficie y que han sido ampliamente estudiados para aplicaciones como pegamentos y adhesivos.</p>
hidrofobicidad	<p>"no se moja porque es hidrofóbica. Yo les digo que es como si cada granito de arena se hubiese puesto un chubasquero, y por eso no se moja.</p>

Tabla 12. Vinculación de conceptos clave con ideas y conocimientos previos

También recopilamos las comparaciones o metáforas utilizadas para explicar el tamaño y las propiedades.

Concepto tratado	Comparaciones /metáforas	Texto completo
FULLERENO	Balón de futbol/Planeta tierra	Un fullereno , si lo comparamos con el balón de futbol que todos hemos visto antes que comparaban y conocían, su tamaño sería el equivalente al de comparar ese balón de futbol con el del planeta tierra.
NANOTUBO	cabello/túnel	Un nanotubo si lo comparamos con el grosor de uno de nuestros cabellos, sería el equivalente a compararlo con un macro túnel.

<p>MICROSCOPIA ELECTRONICA</p>	<p>Punta Torre Eifel-pelota</p>	<p><i>El efecto túnel es un fenómeno cuántico, difícil de explicar a fondo, pero es sencillo comprender que si pudiésemos imaginar un microscopio en el que tenemos una punta muy muy fina, tanto que acaba en un átomo y que con esta punta, vas “barriendo” una muestra (superficies), de forma que cuando la punta encuentre un átomo, se produce una interacción (electromagnética) y se genera una corriente de electricidad que se procesa y se puede traducir en una señal que me permite dibujar un mapa topográfico de lo que estoy viendo, aunque en realidad no estoy viendo sino tocando.....</i></p> <p><i>Para comprender la complejidad que implica el manipular la materia a esta escala, se pueden hacer juegos en los que podemos utilizar un juego como este de solitario con bolas e intentar manipularlas con una mano con una manopla con la que cojo unas pinzas de cocina, para hacernos una idea de lo complicado que es manipular la materia a escala nano, ya que sería como si intentase mover un balón de fútbol con la punta de la Torre Eifel.</i></p>
<p>Propiedades</p>	<p>Grafeno/acero</p>	<p>El grafeno estamos habando que es 200 veces más fuerte que el acero, por ejemplo.</p>
<p>Propiedades</p>	<p>Grafeno conductividad</p>	<p>El grafeno es el mejor conductor de la electricidad que existe hasta el momento</p>
<p>Propiedades/estructura</p>	<p>Velcro</p>	<p><i>Llama mucho la atención algunos ejemplos como el “velcro”. Una imagen del velcro al microscopio, nos permite ver literalmente, unos ganchos que son los que hacen que la parte “mullidita” se quede pegada, porque se “enganchan” a esta. Esto ayuda mucho a comprender el cómo en</i></p>

		<i>función de cómo se ordenan los átomos en el mundo nano, esto tiene una implicación en cuáles serán sus propiedades en el mundo macro.</i>
--	--	--

Tabla 13. Estrategias para la explicación de conceptos clave

Y los ejemplos utilizados para explicar conceptos de Nanociencia apoyándose en elementos conocidos. Los hemos agrupado en varias categorías:

CATEGORÍA	ELEMENTOS	TEXTO COMPLETO
Inspirados en naturaleza	Mariposa Morfo, geco, copos de nieve	<p><i>.....En este caso, la inspiración la encontramos en el geco, que lo que tiene son unos pelitos que hacen que se adhiera a cualquier superficie y que han sido ampliamente estudiados para aplicaciones como pegamentos y adhesivos.</i></p> <p><i>La mariposa Morfo, que tiene unas alas que muestran iridiscencia, con unos tonos azulados muy chulos y que nos abre todo mundo de contenidos a explicar, al introducir el concepto de la luz en la nanoescala, como en función del ángulo en el que incida la luz, veo un color u otro. Explorar la luz en la nanoescala nos permite explicar como un material nanoestructurado con una especie de rejilla en la que dependiendo como incida la luz vemos un color u otro.</i></p>
Singulares o “famosos” a lo largo de la historia	Copa Liturgio, espadas de Damasco, vidrieras de iglesias	<p><i>.....porque otra forma de aproximarse a la nanociencia es a través de materiales a los que a lo largo de la historia se les han atribuido propiedades casi “mágicas” y que luego, se han estudiado y descubierto que esas propiedades se explicaban a través de la nanociencia. Por ejemplo, tres de los más famosos son:</i></p> <p><i>La copa de Liturgio. En función de desde donde le incide la luz, se observa de un color u otro. Se descubrió que esta copa tenía nanopartículas de oro.... Esto nos sirve también para explicar los</i></p>

		<p>colores de las vidrieras de las iglesias.</p> <p><i>Si preguntamos a cualquier persona qué es el oro (un anillo, unos pendientes, por ejemplo) nos dirá que es un metal duro pulido, que brilla, pero en realidad el oro en tamaño nanométrico, en función del tamaño puede ser de color rojo, verde, etc. Esto los artesanos no sabían que era nanotecnología, pero sí que tenían, en base a la experiencia, muy controlado el proceso; cuánto machacar, cuanto calentar, el oro, para conseguir un color u otro.</i></p> <p><i>Las famosas espadas de Damasco que eran las más famosas porque eran muy resistentes, no se podían doblar, ni romper, ni estropear y que al analizarlas muchos años después con microscopios electrónicos, contenían nanotubos de carbono, ya que el hollín con el que se fabricaba el acero, contenía esas estructuras que le dotaban de esa resistencia.</i></p> <p>El grafeno estamos hablando que es 200 veces más fuerte que el acero, por ejemplo.</p> <p><i>Esto se utiliza muchas veces como recurso, para introducir, pero se puede hacer un taller de vidrieras con papel de celofán y explicar esto. O un taller con pintura de efecto flip-flop que se usan en el mundo del tuning, para explicar cómo al cambiar el ángulo desde el que vemos un material pintado con esta pintura, vemos un color u otro.</i></p> <p><i>O fabricar una espada. En el fondo se trata de actividades más de tipo “manualidad” pero que, con niños pequeños, nos sirven de estrategia para introducir este tipo de conceptos.</i></p>
Basados en	Crema solar/pañal,	<i>Hacer una liberación controlada de fármacos que</i>

<p>aplicaciones cotidianas</p>	<p>material deportivo, tratamientos y diagnóstico enfermedades</p>	<p><i>permita minimizar los efectos secundarios de otros tratamientos más invasivos. Diagnóstico, también.</i></p> <p><i>O desarrollando una nariz electrónica que nos permita detectar drogas en aeropuertos.</i></p> <p><i>Diversas aplicaciones en medio ambiente, filtros para agua,</i></p> <p><i>Cosmética, que luego veremos con ejemplos en el maletín Nanomartes: cremas de pañal, cremas solares, todos estos cosméticos que incorporan nanotecnología y que utilizamos comúnmente. (dióxido de titanio, óxido de zinc, ya no nos quedamos blancos, cuando nos aplicamos crema).</i></p> <p><i>Química, farmacia, construcción, seguridad con materiales termocrómicos que cambian de color con la temperatura...</i></p> <p><i>Equipos deportivos, materiales hidrofóbicos para deportes acuáticos, y raquetas, cuadros de bicis, materiales que tienen que ser muy ligeros, pero también muy resistentes.</i></p>
<p>Iniciativas previas como inspiración</p>	<p>Dominó, juegos de cartas, juegos escape, exposiciones, maletas experimentales, cuentos, efemérides</p>	<p><i>Formatos:</i></p> <p><i>Exposición: Nanorevolution, Nanociencia, un mundo a otra escala, Matheroes (ICMAB)</i></p> <p><i>ADN: propiedades</i></p> <p><i>Superpoderes: aplicaciones</i></p> <p><i>Ejemplos: Fotoenergía, Magnon, etc..</i></p> <p><i>Es otra forma de aproximarse. Era una exposición, pero se ha convertido en otros productos como escapes, comics, etc.</i></p> <p><i>Hablando de juegos de inspiración escape.</i></p>

		<p><i>El Rescate del titán que es del INMA. Storytelling, creatividad, adaptación de materiales, cómo se juega, etc.</i></p> <p><i>Es una estructura móvil y portátil se generan tres espacios: laboratorio, despacho y búnquer (en el que se esconde el titán).</i></p> <p><i>Fotografías micro-macro que hemos explicado antes como una prueba en la que relacionas</i></p> <p><i>Escape hall: retos por equipos</i></p> <p><i>Escape box: cada equipo tiene una caja y dentro de la misma está todo el material necesario para resolver el reto.</i></p> <p><i>Para diferentes edades y contenidos, con diferentes objetivos:</i></p> <p><i>Futurenano: para explicar el método científico y la indagación basada en la evidencia utilizando contenido nano. Lo que tienen es que fabricar un prototipo basado en fundamentos científicos de nanociencia, cada equipo recibe un reto y luego los tienen que presentar al resto. Cada equipo tiene su material en su caja.</i></p> <p><i>Para infantil: maletas Nanoelia y también un cuento "El mundo secreto de Nanoelia".</i></p> <p><i>Formatos más clásicos: eventos: ejemplo: un stand en la noche de los investigadores.</i></p> <p><i>Nosotros hacemos también formación para investigadores sobre herramientas de comunicación científica.</i></p> <p><i>Ferias de ciencia, jornadas de puertas abiertas, el Día de la Nanociencia 10/09</i></p> <p><i>Productos digitales que han crecido en la pandemia. Algunos de estos ejemplos que os he contado, tienen su versión online, en los que yo</i></p>
--	--	--

		<p>puedo jugar desde casa, pero también son un recurso para profesores para utilizarlo en el aula o para vosotros, investigadores para utilizarlo en eventos de divulgación. Competir con otros coles, hacer un ranking. Esto lo vínculo con metodologías como las que hablaremos luego, como la gamificación.</p>
--	--	--

Tabla 14. Ejemplos agrupados por categorías

Y, por último, recogemos otras estrategias identificadas:

ESTRATEGIA	EJEMPLO	TEXTO COMPLETO
Preguntas retóricas		<p>Os decía, ¿cuánto de pequeño? ¿en qué escala nos estamos moviendo? Bueno pues fijaos, una forma de...</p> <p>¿Cómo presentamos todo esto?</p> <p>¿Qué explicamos con esta actividad?</p>
Superlativos	mucho	<p>Un objeto visto al microscópio nos puede parecer muy pequeño, (por eso necesitamos un microscopio para verlo), pero sería muchíiiiisimo más grande que un nanómetro).</p> <p>medirían muchiiiiiiiisimos nanómetros, y por ello es más sencillo manejarse con unidades más grandes como el cm o el metro.</p>

Tabla 15. Otras estrategias utilizadas en el discurso formativo

Discusión resultados Formación para la divulgación de la Nanociencia

Para extraer consideraciones sobre el análisis de la formación, nos centraremos, al igual que en el caso de los perfiles y dificultades, en las dimensiones descritas a lo largo de esta investigación:

- **Dimensión 1:** Perfil del educador científico

El perfil del formador se corresponde en algunos ítems con el de los expertos, es decir, la formación de base es científica, aunque no en el grado de doctor, pero con más de 16 años de experiencia en el ámbito de la divulgación científica, y más de 12 concretamente en el caso de la divulgación de la Nanociencia. En este caso, la tarea de divulgación constituye su trabajo principal y también coincide en que trabaja en colaboración con otras personas, empresas o entidades habitualmente.

- **Dimensión 2:** Conocimientos sobre Nanociencia y divulgación de la Nanociencia

Tras analizar y cuantificar las palabras clave más utilizadas en la formación, estas se corresponden con las más repetidas en el análisis de la dimensión 2 de los encuestados (expertos), sugiriendo que debería de tratarse de palabras indispensables en una formación sobre divulgación y comunicación de la Nanociencia; nanómetro, escala, estructura y microscopio (Castellini et. al, 2007). Igualmente se muestra relevante, conocer aspectos multidisciplinares de la Nanotecnología, como su historia, los profesionales clave que han contribuido a su desarrollo, así como las investigaciones actuales en curso.

Presenta varios ejemplos de formatos y herramientas de divulgación existentes para explicar los diferentes conceptos identificados como clave en las fases previas de esta investigación, lo que podría redundar en la importancia de tener conocimientos sobre el contenido a divulgar, pero también de la experiencia en la realización de actividades de divulgación (Blanco, 2004).

- **Dimensión 3:** Conocimientos sobre didáctica y dificultades en la divulgación

En la formación se han recopilado los ejemplos, símiles y comparaciones que permitan vincular los mundos macroscópico y microscópico (Gispert et. al, 2020; Christoph y

Muñoz, 2015) y ejemplos de aplicaciones de la Nanotecnología vinculados, bien a conceptos conocidos por los destinatarios, o con objetos o mecanismos cotidianos (Aguilera-Jiménez, 2017; Méndez-Santos et al., 2018), vinculándolos de esta forma con sus ideas previas (Ausubel, 2000; Benlloch, 2002). Igualmente, utilizan ejemplos de objetos o materiales “populares a lo largo de la historia para explicar propiedades de los materiales en función de su estructura en la nanoescala.

Además, se evidencia la efectividad de explicar las escalas micro-macro a través de ejercicios mentales en donde los estudiantes se sitúen en la escala métrica para visualizar y vivenciar reducciones y ampliaciones, obteniendo un referente que ayude a evitar las confusiones resultantes (Rubiano, 2013) profundizando en el conocimiento de las relaciones de tamaños existentes entre objetos familiares y cercanos y explorando de manera progresiva hasta el nanómetro (Serena et al., 2014).

En la formación se identifican estrategias para abordar las dificultades encontradas en apartados anteriores de esta investigación, tanto de los destinatarios finales, como también de los educadores de Nanociencia, así como otros que no han sido identificados y que tienen que ver con cuestiones de contexto como espacios y contextos de ejecución.

Igualmente se identifican estrategias de comunicación como preguntas retóricas, llamadas de atención, repeticiones de conceptos clave, como principales estrategias para adaptar el lenguaje al público destinatario.

Igualmente, es necesario conocer y presentar los diferentes canales para la “materialización de la acción divulgadora” como son los formatos de actividad y las condiciones de contexto, por ejemplo, del evento o proyecto donde se desarrolle.

- Dimensión 4: actitudes hacia la divulgación de la Nanociencia

Esta dimensión no se ha considerado de aplicación en el análisis de la acción formativa.

BLOQUE 6: HERRAMIENTA DIDÁCTICA
“LOS NANOMARTES”

**CAPÍTULO 6.1. METODOLOGÍA PARA EL
ANÁLISIS DE HERRAMIENTA DIDÁCTICA
NANOMARTES**

6.1.1. Análisis de la herramienta didáctica

Como ya hemos comentado en apartados anteriores, la Nanociencia y la Nanotecnología forman parte del desarrollo científico y tecnológico de la actualidad y para educar en sus conceptos y divulgarlos a la sociedad, se necesita del diseño y creación de nuevas estrategias de enseñanza-aprendizaje motivadoras, de herramientas educativas innovadoras y de personal especializado en este campo (Glenn et. al, 2016; Yawson, 2017). De hecho, algunos autores señalan el hecho de no contar con profesionales con los conocimientos y destrezas necesarias, como la limitación más significativa para el desarrollo e implantación de la Nanociencia y la Nanotecnología (Roco 2011)., por lo que la educación científica y la formación de las nuevas generaciones, se constituye como una pieza clave para el futuro desarrollo de la Nanociencia.

Esta necesidad ha llevado a la introducción de cursos de pregrado y posgrado en universidades de todo el mundo sobre este campo del conocimiento (Huang, Pavel et al., 2016; Jackman et al., 2016). Dentro de la enseñanza de las ciencias en la educación básica y media, han surgido profesionales e instituciones que, han trabajado para llevar la Nanociencia a las aulas, aunque de manera incipiente. No obstante, falta mayor esfuerzo para generar antecedentes importantes en este campo y aumentar el número de investigadores motivados a trabajar en él, ya que los casos de estudio en esta área en niveles inferiores (primaria y secundaria) son escaso o no se establecen dentro de propuestas de investigación con resultados rastreables (Ribeiro et al., 2016; Ruano y Hernández, 2016; Rubiano, 2013).

A continuación, revisamos algunas investigaciones llevadas a cabo en este contexto.

Rubiano (2013), realizó el diseño de una unidad didáctica denominada *Viaje al interior de los objetos: el fantástico mundo de lo diminuto*, dirigida a docentes, con el objetivo de que los estudiantes se aproximasen a algunos conceptos de Nanociencia y Nanotecnología. Por otro lado, se diseñó un material educativo para la enseñanza de los nanomateriales, por parte de Rubiano (2015), denominado *Nanobox*, el cual desarrolla, por ejemplo, consecuencias de la escala nano o propiedades eléctricas y físicas de los nanomateriales.

También cabe destacar la alternativa para la divulgación del concepto de nanomateriales en la educación media “Docente nano”, investigada por Torres y Duarte (2018), o la estrategia “Retos Nanodidácticos” como estrategia enmarcada en la investigación educativa y cuyos resultados evidencian que con la aplicación de esta propuesta se mejoró la disposición de los estudiantes e incrementó la valoración en el desempeño académico en el área de ciencias, pasando de un nivel de bajo a un nivel básico, a partir del desarrollo en el aula de conceptos del mundo en la escala nanométrica (Aragón Rodríguez, 2020).

En la bibliografía también encontramos algunos ejemplos de investigaciones que analizan la planificación, diseño y desarrollo de este tipo de herramientas. Este es el caso de la obra “El nanocirco” en la que se integran artes escénicas y circenses con la ciencia, para dar como resultado una experiencia de comunicación científica en el ámbito no formal. Su objetivo era motivar a las personas por la ciencia y enseñar cuatro conceptos de Nanociencia y nanotecnología. Para ello, los investigadores recopilaron reflexiones por parte de los participantes del equipo de desarrollo y llevaron a cabo una evaluación a través de los espectadores enfocada a evaluar el cambio de los estereotipos científicos, resultando una herramienta motivadora y generadora de diversidad de instrumentos de enseñanza y comunicación para los aprendizajes tanto del equipo desarrollador, como para los espectadores (Ortiz-Andrade, et al., 2019).

Como hemos recopilado en el marco teórico, en Aragón, el Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón ha llevado a cabo desde su constitución un trabajo de divulgación exhaustivo que se ha materializado en una serie de herramientas de diferentes formatos con elevado impacto a nivel autonómico y nacional (MEMORIA DE ACTIVIDADES INA, 2018).

Para la realización de esta investigación se ha seleccionado el proyecto Nanomartes dado que la autora de esta tesis estuvo directamente implicada en el diseño y desarrollo de este material dentro del equipo de Esciencia, para el Instituto de Nanociencia de Aragón (en ese momento, INA), bajo la supervisión del Prof. Ricardo Ibarra (director del INA en ese momento).

Por lo tanto, con el objetivo de contribuir en este campo de investigación educativa, el INA presentó la herramienta didáctica “Los Nanomartes” cuyo objetivo es la introducción de nociones de Nanociencia y Nanotecnología entre escolares y docentes. La propuesta surgió como una solución para docentes a la hora de introducir conceptos científicos novedosos en el aula y con el objetivo final de contribuir a la motivación de las personas por la ciencia y a la formación de una cultura científica mediante la enseñanza y comunicación de sus conceptos básicos, como parte de los conocimientos que los individuos deben poseer para participar, opinar, decidir y dialogar de forma adecuada e informada sobre temas que se pueden enmarcar en situaciones académicas y de la vida diaria (Einsiedel y Goldenberg 2004, Laherto 2010). Este proyecto se diseñó para un contexto no formal, con el fin de motivar a la Nanociencia al aprendizaje tanto de escolares como de los docentes que participaron. Para lograr este propósito, se diseñó una maleta experimental acompañada de una guía didáctica con los fundamentos teóricos, pero también con las pautas para la utilización y realización de los experimentos propuestos en el maletín y otros complementarios, así como el material necesario para la planificación y ejecución de estos.

La herramienta didáctica Los Nanomartes está desarrollada en base a metodologías de aprendizaje basado en la indagación para desarrollar habilidades científicas relacionadas con la Nanociencia (Muñoz y Salillas, 2018). Para ello se desarrollaron 6 guías de actividades prácticas sencillas, recogidas en una unidad didáctica, así como el diseño de un maletín experimental con los materiales necesarios para poder realizar las experiencias propuestas en el aula. La guía didáctica también contiene otras propuestas alternativas de experimentos para realizar con materiales aportados por el docente.

El enfoque de la investigación respecto a esta herramienta es de tipo cualitativo, evaluando el interés y el aprendizaje de conceptos básicos de Nanociencia por estudiantes de secundaria y bachillerato, a través de la opinión de los docentes encargados de llevar a cabo las experiencias en el aula, es decir, de implementar el proyecto, así como de los materiales y proyectos resultantes y llevados a cabo por los estudiantes, como resultado de su participación en el proyecto.

Por tanto, una vez realizadas las experiencias, el proyecto se completa con un enfoque pedagógico basado en el aprendizaje colaborativo y que centra su desarrollo en competencias como la investigación, el análisis y la experimentación, pero favoreciendo competencias como el trabajo colaborativo, la comunicación oral y la generación de conocimiento, que, entre otras, son aptitudes requeridas en ambientes profesionales (Williams y Ringbauer, 2014).

Como la enseñanza de las ciencias implica promover una interacción constante entre la realidad y el conocimiento, no sólo mediante de la teoría, sino también a través de la realización y observación de experimentos sencillos que provoquen el planteamiento de preguntas de razonamiento científico (De Miguel, 2006; Linn et al, 2004), si tenemos en cuenta la dimensión didáctica, debemos recurrir a metodologías activas que impulsen la indagación en la escuela, para mejorar los modelos tradicionales (Gil, 2014).

Las metodologías activas, permiten la implicación de los docentes en el proceso de enseñanza-aprendizaje, promoviendo actividades y tareas concretas de participación directa que lo hagan posible. Por ello, algunos autores como Schroeder et al. (2007) afirman que las metodologías más efectivas para abordar contenidos científicos en la escuela son las que se basan en la investigación y el trabajo colaborativo, ya que la colaboración ofrece nuevas oportunidades no solo para el aprendizaje, sino que también promueve la comunicación e interacción efectiva, la búsqueda de acuerdos y el desarrollo del liderazgo (Romero y Quesada, 2014).

Como ya vimos en el marco teórico, la motivación de los estudiantes constituye además una variable crítica para la enseñanza de las ciencias (Guisasola y Morentin, 2007), pues se relaciona con las actitudes y expectativas que éstos poseen sobre las tareas a realizar y las metas a alcanzar, resultando factores clave que guían y dirigen su conducta, e influyen en los logros de aprendizaje. De ahí que el nivel de motivación se vincule con el tipo de estrategias de aprendizaje adoptadas, así como con los recursos utilizados para acercar la ciencia al alumnado. En este sentido, la utilización de maletines experimentales constituye un recurso novedoso en la enseñanza de ciencias que ofrece oportunidades para potenciar la motivación e implicación de los

estudiantes en el aprendizaje de las ciencias y promover, por tanto, el desarrollo de capacidades que contemplan la competencia científica y su forma de trabajo y la competencia comunicativa.

Para la revisión y análisis de la herramienta didáctica para la divulgación de la Nanociencia “Los Nanomartes” se opta por una metodología mixta en la que por una parte, analizamos cuantitativamente mediante un cuestionario diseñado ad hoc (Cañal, 2012b; y Franco-Mariscal, 2015) la percepción de los docentes (Chacón, 2006; García y Zubizarreta, 2012 y Gutiérrez, Pérez y Pérez, 2011) sobre las aportaciones del proyecto en la adquisición de conceptos relacionados con la Nanociencia, así como las actitudes del alumnado tras participar en el proyecto y una parte cualitativa, a través del análisis de cómo son abordadas las dificultades detectadas en fases previas de esta investigación, a través de esta herramienta didáctica.

Instrumentos para el análisis

El cuestionario contaba con 18 items, 3 para caracterización de la muestra y 15 para registrar la percepción de los docentes sobre:

- Comprensión de conceptos nanocientíficos
- Actitud hacia la ciencia
- Motivación del alumnado hacia la ciencia en general y la Nanociencia en particular.
- El desarrollo o no de actividades en equipo relacionadas con el proyecto.

La metodología de esta segunda fase constó de varias fases: Inicio, primeras actividades de los equipos, desarrollo del proyecto, conclusiones desde la perspectiva del alumnado y conclusiones desde la perspectiva del profesor (Gómez y Santos 2012). Con este proyecto se pretende facilitar una herramienta que ayude a mejorar el desconocimiento existente en la sociedad acerca de las Nanociencia y la Nanotecnología.

Se trata, por tanto, de un diseño no experimental, cualitativo y descriptivo, como herramientas efectivas para la investigación educativa (Manterola et al., 2019). El enfoque fue eminentemente fenomenológico, debido a que el estudio se centra en

recopilar información sobre experiencias individuales subjetivas de los participantes (docentes) en relación con un fenómeno colectivo (implementación del proyecto educativo en el aula) (Relinque et al., 2013).

Para llevar a cabo el análisis relacionado con el abordaje de las dificultades para la divulgación de la Nanociencia, se lleva a cabo una descripción y revisión de la herramienta y una revisión exhaustiva de la guía didáctica, en base a las dificultades y obstáculos recopilados en la literatura y detectados en el análisis del cuestionario a educadores de la primera investigación de la tesis.

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA HERRAMIENTA

Introducción

El proyecto “NANOmartes” fue patrocinado por el Instituto de Nanociencia e Aragón (en la actualidad INMA). Este centro perteneciente a la Universidad de Zaragoza se dedica desde su constitución en 2003 a realizar labores de I+D+i en el campo de la Nanociencia. Gracias al personal investigador y técnico altamente especializado y a sus instalaciones de vanguardia, es un centro de referencia en Europa en el campo de la Nanociencia. Desde su constitución, el INA ha llevado a cabo multitud de acciones para la difusión de la Nanociencia entre diferentes públicos y en diferentes contextos.

Con el objetivo de seguir trabajando en la difusión de esta rama emergente de la ciencia, surgió el proyecto que a continuación pasamos a describir.

Descripción

El proyecto “NANOmartes” surgió en el 2013 como fruto de la estrecha colaboración entre el programa “Ciencia Viva” perteneciente al Departamento de Educación del Gobierno de Aragón y el Instituto de Nanociencia de Aragón. “Ciencia Viva” consistía en un programa en el que participaban profesores de diversos centros educativos de Aragón y cuyos miembros colaboraron en la coordinación y ejecución de este proyecto, que se planteó como una actividad a ejecutar por el propio profesor. Tras un curso de formación para los docentes y con ayuda de una guía didáctica, los propios

profesores introducían a sus alumnos en el mundo de la Nanociencia, tratando de despertar en ellos el interés por la ciencia.

“NANOMartes” resulta pues una herramienta divulgativa con la que acercar la Nanociencia a ambos colectivos, docentes y alumnado, desde 2º de ESO hasta 2º de Bachillerato, pudiéndose extender a otras etapas educativas como la Educación Primaria. Todas las actividades planteadas son experiencias prácticas e interactivas en las que tanto escolares como profesores trabajan con sus propias manos para introducirse en la nanociencia. Las actividades incluidas dentro de estos kits fueron diseñadas con el objetivo de que fuesen fácilmente comprensibles para profesores y alumnos, en un lenguaje sencillo y con actividades que capten la atención de los escolares. En este programa han participado más de 3000 alumnos de colegios e institutos de Aragón por los que han ido itinerando los maletines.

Por otra parte, el maletín ha sido utilizado en numerosos eventos presenciales de divulgación científica desde su creación en 2013, concretamente en La Noche de los Investigadores durante 8 ediciones (periodo 2014-2022) y en el Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia 4 ediciones (2015, 2016, 2017 y 2018).

Por último, el maletín ha sido utilizado igualmente por investigadores del INMA en otros eventos de divulgación.

Para el diseño, adaptación didáctica y gestión de los materiales e itinerancia se contó con una empresa especializada en gestión de la divulgación científica, Esciencia Eventos Científicos S.L.

Las fases del proyecto fueron:

1)Diseño del maletín y la guía didáctica

2) Implementación del proyecto

Formación de docentes

Cesión de maletines, reposición y ejecución

3)Evaluación del uso de los maletines

Planificación y organización

En este proyecto se seleccionó un día semanal para dedicar a la profundización en la Nanociencia y sus aplicaciones. El docente realizará por tanto las actividades en el aula en coordinación con el resto del profesorado de su departamento y para ello utiliza una guía y el material contenido en el maletín. Una vez finalizada la acción en un centro

y a través de la coordinación del programa Ciencia Viva, los maletines itineraban de un centro a otro.

El maletín consiste en una herramienta que contiene el material necesario para la realización de una serie de experiencias relacionadas con la Nanociencia y sus aplicaciones, orientadas principalmente a alumnos de ESO y Bachillerato.

En la guía didáctica se encuentra la información necesaria para el correcto desarrollo de las experiencias, así como información adicional para la introducción de la actividad y la profundización en los aspectos teóricos. Algunas de las actividades propuestas requieren de materiales adicionales sencillos de conseguir que debe preparar el docente para su realización en el aula, si lo considera oportuno.

Es recomendable, por tanto, la lectura previa de la guía por parte del docente para que este pueda realizar una previsión para la organización de la clase de los medios necesarios, así como supervisar que el material del maletín se encuentra en buen estado.

El maletín está diseñado para que las actividades puedan realizarse de forma sencilla en el aula y para un número determinado de usos.

Contenidos

Los contenidos están recogidos en una guía didáctica en versión digital y están estructurados de la siguiente forma:

INTRODUCCIÓN

¿Qué es la nanotecnología?

CAPÍTULO 1: LA NANOESCALA

Experiencia 1: Cinta nanométrica

CAPÍTULO 2: MATERIALES SORPRENDENTES

Experiencia 2: Silly Putty (Plastilina) magnética

CAPÍTULO 3: FUNCIONALIDAD A TRAVÉS DE LA NANOTECNOLOGÍA

Experiencia 3: Film anti-espía

Experiencia 4: Nanocrema solar

Experiencia 5: Óxido de titanio

Experiencia 6: Lámina termocrómica

Experiencia 7: Taza termocrómica

Experiencia 8: Body termocrómico

CAPÍTULO 4: EFECTO LOTUS

Experiencia 9: Experimento para observar el “Efecto Lotus”

Experiencia 10: Producto anti-vaho

Experiencia 11: Ángulo de humectancia

Experiencia 12: Arena mágica

CAPÍTULO 5: MEMORIA DE FORMA

Experiencia 13: Nitinol

Experiencia 14: Materiales cotidianos con memoria de forma

CAPÍTULO 6: CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Experiencia 15: Circuito eléctrico con grafito

La guía está estructurada en dos dimensiones, el mundo macroscópico y el mundo nanoscópico, de forma que se presenta en primer lugar un apartado denominado “Divulgando”, en el que se recogen los contenidos teóricos a divulgar a modo de introducción y a continuación se profundiza en esas dos dimensiones.

Cada capítulo incluye la correspondiente actividad experimental que contempla además de los apartados anteriores, el correspondiente a la ejecución de la misma, es decir, por un lado, el listado de material necesario y por otro, el procedimiento para llevar a cabo la práctica demostrativa.

Cada capítulo está estructurado en dos dimensiones: una aproximación macroscópica, denominada “a la luz de nuestros ojos” y la correspondiente microscópica, llamada “a

la luz de la nanociencia”, donde se recogen los fundamentos teóricos del contenido de cada tema, explicados con un lenguaje sencillo y descriptivo de los tecnicismos. A continuación, se presenta la actividad para llevar a cabo el experimento propuesto utilizando los materiales incluidos en el maletín. Los experimentos son llevados a cabo por el docente con la ayuda de estudiantes a modo de voluntarios. Algunos experimentos disponen de material para poderlos realizar por parejas. Otro planteamiento utilizado es dividir la clase en cinco grupos y que cada uno realice y explique el experimento a los demás grupos.

En la guía didáctica se describe cada experiencia atendiendo a los siguientes apartados:

- Divulgando. Se trata de un apartado en el que se explican los contenidos tratados en el apartado de fundamentación teórica, de manera divulgativa y adaptada didácticamente al nivel del público destinatario.
- Protocolo. Descripción detallada de los pasos a seguir “a modo de receta” para llevar a cabo la experiencia.
- Observaciones. Información complementaria relacionada con la práctica o el contenido.
- Precauciones. Consideraciones de seguridad para llevar a cabo la práctica experimental.
- Material. Listado de material necesario para realizar el experimento, diferenciando entre el material disponible en el maletín y el que debe aportar el docente.

CAPÍTULO 4: EFECTO LOTUS

A LA LUZ DE NUESTROS OJOS
Durante muchos años investigadores de todo el mundo buscaban el modo de crear superficies que repelieran tanto la suciedad como el agua. Tras muchos años de investigación, y como ocurre a menudo, fue la Naturaleza la que nos proporcionó la respuesta. A través del estudio de una serie de plantas que habían solucionado ese problema. La flor del loto (Lotus) le da nombre a este efecto y es en sus hojas donde mejor podemos apreciarlo.

La evolución ha dotado a estas plantas de la capacidad de repeler el agua para evitar los daños que la exposición continua a esta puede suponer sobre sus hojas, a la vez, también las protege de la suciedad (espores, algas, polvo, etc.). Ya que cuando las gotas de agua recorren la superficie de las hojas del loto, recogen todas las partículas, que no están adheridas a las hojas debido a dicho efecto. Lo que ocurre es que las partículas contaminantes tienen poca afinidad por la superficie de las hojas. Lo mismo le ocurre al agua y por eso las gotas recorren la superficie sin mojarlas. Por el contrario, estas partículas de suciedad tienen mayor afinidad por el agua, por lo que cuando esta pasa por los alrededores de dichas partículas, se adhieren a la gota dejando limpia la superficie de la hoja.

A LA LUZ DE LA NANOESCALA
1000 nm

Protuberancias superficie hoja flor de loto

Es común pensar que las superficies totalmente lisas son más fáciles de limpiar que las rugosas; ya que en las primeras nos parece que la suciedad no se incrusta. Pero si pudiéramos ver la superficie de las hojas de la flor del loto a la luz de un microscopio electrónico, veríamos una superficie totalmente rugosa, y es debido a esta nanoestructura rugosa de la superficie de las hojas por la que se produce el efecto de extrema hidrofobicidad.

La repulsión de un material al agua está fundamentada en la nanoestructura de su superficie. La nanoestructura de las hojas de la flor del loto modifica las interacciones (tensión superficial) entre las moléculas de agua con las de aire, de agua con las de la hoja y las de la hoja con el aire. Y esto a su vez determina el ángulo de contacto entre la gota de agua y la hoja, conocido como ángulo de humectancia.

Según la definición física, una superficie es hidrofílica cuando el ángulo de contacto entre una gota de agua y la superficie es inferior a 90°. En este caso, el líquido moja al sólido ya que la superficie de contacto entre la gota de agua y el sólido se reduce considerablemente. Por el contrario, una superficie es hidrofóbica cuando el ángulo de contacto es superior a 90°, de esta manera, se puede decir que la gota no moja el sólido.

Desde otro punto de vista podemos considerar este efecto como asuavesante entre diferentes materiales. Las moléculas de agua interactúan mejor entre sí mismas que con las moléculas del aire, de manera que adoptan una forma esférica, ya que esta es la forma geométrica que tiene una menor superficie para un mismo volumen. Siguiendo esta explicación, la nanoestructura de la superficie de la flor de Loto reduce al máximo la atracción de las moléculas de agua por las de la hoja, por lo que entran en contacto y de manera muy débil el menor número de moléculas de agua y de hoja, formando de este modo un ángulo de contacto superior a los 90°.

Si por el contrario las moléculas de la hoja y las de la gota se atraerán en mayor medida, las moléculas de agua estarán más cómodas en contacto con estas que con las del aire, de modo que la superficial agua-hoja aumentará, disminuyendo a la vez el ángulo de contacto.

Consideremos un líquido que ha caído sobre una superficie sólida. Si el líquido es atraído fuertemente por la superficie (por ejemplo agua sobre un sólido hidrofílico) el ángulo de contacto será pequeño. Para los sólidos que sean menos hidrofílicos el ángulo de contacto puede variar entre 0° y 30°. Si la superficie del sólido es hidrofóbica el ángulo de contacto será mayor que 90°. En superficies muy hidrofóbicas el ángulo puede ser mayor a 150° e incluso cercano a 180°. En estos casos el agua reposa sobre la superficie pero no la moja ni tampoco se extiende sobre ella. Como ya hemos comentado, la flor del loto consigue esto gracias a la nanoestructura que presenta su superficie.

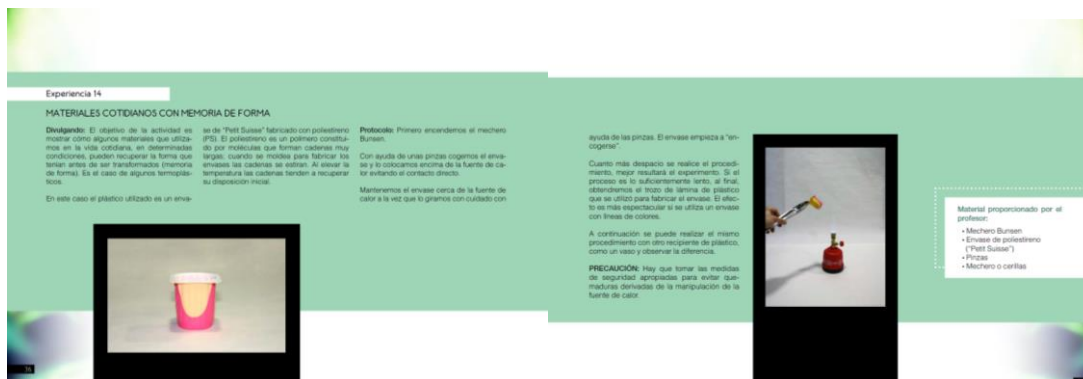






Fotografía 13. Páginas interiores de la Guía Didáctica de Los Nanomartes: ejemplo de capítulo completo con los apartados teóricos y experimentales

En algunos capítulos, se incluyen además experiencias sorprendentes que pueden llevarse a cabo con material accesible y cotidiano y que completan los contenidos que se trabajan.



Fotografía 14. Páginas interiores de la Guía Didáctica de Los Nanomartes: ejemplo de experiencia para realizar con materiales proporcionados por el profesor

Materiales maletín experimental

El proyecto cuenta con la unidad didáctica (Ver anexo) que se envía de manera virtual al profesor responsable de la realización de la actividad en el aula y el propio maletín que cuenta con el siguiente inventario de material:

1. 1 Lupa USB y 1 CD de instalación
2. 1 Body bebé termocrómico
3. 1 Kit plastilina magnética:
 1. Plastilina magnética
 2. 1 imán de neodimio
 3. 2 clips
 4. 5 grapas
4. 1 Film antiespía
5. 1 Nitinol
6. 1 Taza termocrómica
7. 1 espejo y 1 vidrio de reloj
8. 1 Líquido anti-vaho
9. 1 Arena mágica y 1 Arena normal
10. 3 pipetas, 1 pincel y 1 vaso precipitados
11. 1 lámina termocrómica
12. 1 secador
13. 1 Kit grafito:
 1. 2 minas grafito
 2. 3 cables con cocodrilo
 3. 1 pila 9V

- 4. 1 led y 1 resistencia
- 14. 1 crema óxido zinc (nano) y 1 crema óxido de zinc
- 15. 16 trozos tela hidrofóbica
- 16. 2 semiesferas efecto filp-flop
- 17. 100 trozos de cartulina y 100 palillos de algodón
- 18. 2 filtros de arena
- 19. Cinta nanométrica



Fotografía 15. Ffotografía del interior del maletín (Esciencia).



Fotografía 16. Fotografía maletín completo (Esciencia).

Gestión itinerancia y seguimiento del proyecto

De manera anual y de acuerdo con el calendario académico, se elabora un calendario de cesiones e itinerancias, teniendo en cuenta la realización de las correspondientes reposiciones de materiales y mantenimiento del maletín.

En este calendario se registran los siguientes campos:

- Responsable
- Centro educativo
- Email de contacto
- Teléfono de contacto
- Número de maletín
- Fecha de cesión
- Fecha de devolución

En cada cesión se firma un “acuerdo de cesión” en el que se recoge un compromiso de divulgación y buen uso de los materiales de forma que el centro se compromete a:

- Citar, de manera visible, las actividades realizadas por los alumnos como resultado de su uso, desde los medios que habitualmente emplee el centro para divulgar información. Es decir, desde la web del centro, así como posibles redes sociales, blogs, etc de los que disponga
- Enviar fotografías de las experiencias derivadas de su utilización, con el fin de que éstas puedan ser publicadas en otros medios de divulgación.
- Trasladar el número y nivel de educación de los escolares que han empleado dicho maletín.
- Comunicar el posible diseño de experiencias alternativas o actividades didácticas específicas que se han realizado en torno a éste.
- Trasladar un listado de material perdido, dañado o agotado

Evaluación

El proyecto se lleva a cabo dentro del aula y en horario lectivo, y es ejecutado directamente por los docentes en las aulas, por tanto, hablamos de una herramienta de la educación no formal que se utiliza en el contexto de la educación formal.

Cada año se elabora un informe de resultados en el que se recopila la siguiente información en base a las preguntas recopiladas de los centros educativos. Las encuestas son cumplimentadas por los docentes, aunque contienen preguntas de valoración por parte de los usuarios finales (estudiantes).

En el Anexo 4 se encuentra el formulario utilizado.

CAPÍTULO 6.2: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ANÁLISIS DE LA HERRAMIENTA DIDÁCTICA

Datos cuantitativos

Los cuestionarios fueron realizados durante tres cursos académicos y el objetivo consiste en hacer el análisis desde la perspectiva que nos ha dado la investigación realizada a lo largo de esta tesis.

En total han participado 20 docentes de 13 centros educativos, con un total de 1637 participantes desglosados de la siguiente forma en cada curso académico.

CURSO	CENTRO	NIVEL	ALUMNOS
16/17	Salesianos Zaragoza	2º y 3º ESO; 1º y 2º Bach	200
	Santo Domingo de Silos	4º ESO (Cultura científica)	23
	IES Tiempos Modernos	2º y 3º ESO	325
	La Inmaculada	5 y 6º Primaria; Todo ESO	130
	Escuelas Pías	Secundaria y FP Básica	42
	Colegio La Inmaculada (Alcañiz)	5º y 6º primaria y ESO	130
	IES Ródanas (Épila)	2º, 3º y 4º ESO	60
	IES Ródanas (Épila)	1º Bach	28
	IES Baltasar Gracián (Graus)	3º y 4º ESO. 1º y 2º Bach	60
			998
CURSO	CENTRO	NIVEL	ALUMNOS
17/18	La Anunciata	2º y 4º ESO	66
	Santo Domingo de Silos	4º ESO	15
	IES El Portillo	4º ESO, PMAR y programas especiales	25
	C. Santa Ana (Calatayud)	1º y 4º ESO	64
	IES Miguel de Molinos	2º, 3º y 4º de la ESO	130
	IES Elaios	3º ESO	117
	Academia Marco	Grado medio y superior	93

	Santo Domingo de Silos	2º ESO	75
			585
CURSO	CENTRO	NIVEL	ALUMNOS
18/19	La Anunciata	2º y 4º ESO	54

Tabla 16. Datos de los centros participantes en el proyecto "Los Nanomartes" por curso académico

De todos ellos, recogemos los datos de aquellos que han cumplimentado los cuestionarios:

De los 13 centros educativos participantes recogemos a continuación la información cuantitativa de aquellos que cumplimentaron los cuestionarios:

- En cuanto a número de centros educativos:

Curso académico	2016/2017	2017/2018	2018/2019
Nº de docentes	7	10	3
nº de C.E.	6	8	3
nº de clases totales implicadas	22	32	5

Tabla 17. Datos cuantitativos de los cuestionarios rellenados por curso académico

Datos cualitativos

Respecto a la valoración de la adecuación del material incluido en el maletín para realizar las actividades diseñadas en la unidad didáctica el 100% de los encuestados lo valoraron como "muy adecuado" en el curso 2016/2017, el 87,5% lo valoraron como "muy adecuado" el curso 2017/2018 (el resto como "adecuado") y el 66,67% el curso 2018/2019.

Las razones más repetidas son la sencillez de las experiencias y el hecho de que los experimentos son sorprendentes para conseguir captar la atención de los estudiantes y despertar su curiosidad para seguir indagando y descubriendo. También destacan la facilidad para conseguir los materiales para la realización de los experimentos complementarios propuestos.

A continuación, mostramos el ranking de los experimentos mejor valorados por los alumnos:

La experiencia mejor valorada fue la número 2 “plastilina magnética”. La segunda, fue la número 12 “arena hidrofóbica” y la tercera, la número 8, correspondiente al “body termocrómico”.

La experiencia que menos ha gustado a los alumnos ha sido la número 1: la cinta nanométrica. Las razones más nombradas están relacionadas con la dificultad y falta de motivación de los alumnos sobre los conceptos de cambios de unidades en la escala métrica.

Respecto a la pregunta sobre el grado en el que el docente percibe que los alumnos han entendido qué es la Nanotecnología y para qué se aplica, el 73,68% de los docentes encuestados afirma que han aprendido algunos conceptos y el 21,05% afirma que lo han entendido todo.

Cuándo preguntamos a los docentes, de qué forma esta experiencia ha afectado a los conocimientos que los alumnos tienen sobre la Nanociencia y la ciencia en general, el 51,52% señala que “han conocido una nueva disciplina científica que desconocían”, el 24,24% indica que ha servido para afianzar conocimientos sobre otras áreas científicas, el 15,15%, que ha permitido potenciar sus destrezas prácticas y su visión de la lógica científica y el 9,09%, que ha ayudado a entender la aplicación del método científico.

El 100% de los encuestados, durante todos los cursos académicos afirma que recomendaría esta experiencia y el 47,5% señala que su uso ha aumentado “en muchos casos” a la motivación de los alumnos para dedicarse en un futuro a alguna disciplina científica.

Sobre los resultados obtenidos al trabajar con el maletín destaca el de fomentar el “interés por la ciencia”.

Resultados del proyecto

Informe

Con la información recopilada se elabora anualmente una memoria donde se recopilan los resultados de cada centro educativo participante y que recoge la siguiente información:

- Nombre del centro educativo
- Datos del docente
- Número de alumnos participantes
- Nivel académico de los alumnos participantes
- Fechas de uso del maletín
- Breve reseña resumen
- Fotografías

Maletines: NANOMARTES



Instituto Universitario de Investigación
en Nanociencia de Aragón
Universidad Zaragoza

I.E.S. Rodanas (Épila)

Profesor solicitante: [REDACTED]

Nº alumnos: 28

Nivel alumnos
participantes: 1º Bach.

Fechas de uso: 21/03 - 19/04

Los alumnos han podido practicar in situ con los nuevos materiales. Además, han trabajado en parejas. Cada una con una propiedad y la han presentado al resto de la clase. También han redactado un artículo sobre el experimento.



Fotografía 17. Vista ejemplo del informe IES Rodanas (Épila).

Comunicación del proyecto

También se lleva a cabo una recopilación de apariciones en los medios on-line de los centros (webs y blogs, principalmente).



Fotografía 18. Ejemplo recopilación de apariciones IES Ródanas y Colegio La Anunciata

[Caminando por Secundaria: MEMORIA DE FORMA EN 2º ESO](#)

Así como las apariciones en prensa para poder estimar un impacto global del proyecto.

Resultados análisis dificultades

A continuación, recopilamos los resultados del análisis de cómo afronta la herramienta las dificultades detectadas a través del cuestionario de la primera investigación de la tesis.

D1. Dificultad para interiorizar la magnitud de la escala y escaso manejo de ese orden de magnitud.

- Esta dificultad se trabaja con el siguiente experimento: cinta nanométrica

Donde se propone una dinámica en la que medimos objetos cotidianos en nanómetros. Se trata de la primera práctica del maletín, de forma que permite introducir el concepto de escala y explicar la dimensión de la escala nanométrica.

- Explicación de la escala nanométrica

A LA LUZ DE NUESTROS OJOS

En nuestra vida cotidiana estamos acostumbrados a medir longitudes, ya sean tamaños de objetos, distancias, nuestra propia altura... Para ello utilizamos unidades a las que estamos acostumbrados como los metros o kilómetros, pero... ¿qué ocurriría si en lugar de medir en metros o centímetros utilizásemos una unidad de medida mucho más pequeña?

A LA LUZ DE LA NANOESCALA

La nanociencia es el estudio de los sistemas cuyo tamaño es de unos pocos nanómetros.

Un nanómetro (nm) es 10^{-9} metros. 1 nanómetro = 0,000000001m. Es decir, un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro o la millonésima parte de un milímetro.

Para que nos hagamos una idea, un leucocito o glóbulo blanco (una célula de nuestro cuerpo que no puede verse sin ayuda del microscopio) tiene un diámetro de aproximadamente 100.000nm."

La nanociencia trata de comprender qué ocurre a esta escala diminuta y la nanotecnología trabaja para manipular y controlar la materia a esta escala.

D2. Falta de conocimiento de conceptos previos

- En la introducción "¿Qué es la Nanociencia?" Se introducen y relacionan algunos de los conceptos clave según las conclusiones del cuestionario realizado a educadores: átomo, nanómetro y estructura.

"...(Un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro y la mil millonésima parte de un metro).

¿Qué significa?

Lo primero que debemos recordar es que la materia está formada por átomos. Los átomos son partículas minúsculas. Incluso en un objeto muy pequeño, que apenas podemos ver a simple vista, hay muchísimos miles de millones de átomos.

Para formar los objetos grandes, estas enormes cantidades de átomos se unen unos con otros formando estructuras. Las distancias entre esos átomos son de un tamaño en

torno al nanómetro, o sea, como hemos dicho antes, la millonésima parte de un milímetro....”.

- Conocimientos matemáticos previos:

○ Unidades

“Se puede aprovechar la actividad para repasar las potencias en base diez y la transformación de unidades del sistema métrico decimal.”

○ Geometría

“El dióxido de titanio se encuentra en la naturaleza en forma de mineral y puede presentarse en tres formas cristalinas: “anatasa” (estructura tetragonal), “rutilo” (estructura octahédrica) y “brookita” (estructura ortorómbica).”

○ Ángulos

“Y esto a su vez determina el ángulo de contacto entre la gota de agua y la hoja, conocido como ángulo de humectancia. Según la definición física, una superficie es hidrofílica cuando el ángulo de contacto entre una gota de agua y la superficie es inferior a 90°. En este caso, el líquido moja al sólido ya que la superficie de contacto entre la gotita de agua y el sólido se reduce considerablemente. Por el contrario, una superficie es hidrófoba cuando el ángulo de contacto es superior a 90°; de esa manera, se puede decir que la gota no moja el sólido.”

- Conceptos de microscopía

Únicamente se hace referencia a uno de los materiales del maletín: una lupa, para su utilización en una de las experiencias.

“También podemos visualizar que los granos de arena mágica permanecen secos con ayuda de la lupa USB.”

- Concepto de energía:

“Esta demostración es sencilla de entender ya que tenemos interiorizado el concepto de energía en forma de calor, que esta se puede transmitir y por lo tanto que esta energía

provoque finalmente un cambio en la nanoestructura de los compuestos que forman los pigmentos.

- Concepto de conductividad eléctrica

“La conductividad eléctrica es la capacidad de un material para dejar circular libremente las cargas eléctricas a través de él. Depende, entre otros factores, de la estructura atómica y molecular del material.”

D.3 Utilización de conceptos abstractos

No se encuentra la palabra “cuántica” ni derivadas de esta, pero sí que se identifican otros conceptos que podemos considerar abstractos como los siguientes:

- Longitud de onda
- Radiación electromagnética
- Índice de refracción
- Polímero termoplástico
- Polimerización
- Hibridación

Y que requieren, por tanto, de su conocimiento y comprensión previa.

En cambio, si que encontramos otros conceptos complejos explicados de manera divulgativa a través de la utilización de ejemplos relacionados con ejemplos cotidianos o inspirados en la naturaleza:

- Hidrofobicidad

“...se produce el efecto de extrema hidrofobicidad. La repulsión de un material al agua está fundamentada en la nanoestructura de su superficie. La nanoestructura de las hojas de la flor del loto modifica las interacciones (tensión superficial) entre las moléculas de agua con las de aire, de agua con las de la hoja y las de la hoja con el aire.”

- Efecto Lotus

“Durante muchos años investigadores de todo el mundo buscaron el modo de crear superficies que repelieran tanto la suciedad como el agua. Tras muchos años de

investigación, y como ocurre a menudo, fue la Naturaleza la que nos proporcionó la respuesta, a través del estudio de una serie de plantas que habían solucionado ese problema. La flor del loto (Lotus) le da nombre a este efecto y es en sus hojas donde mejor podemos apreciarlo.

La evolución ha dotado a estas plantas de la capacidad de repeler el agua para evitar los daños que la exposición continua a esta puede ejercer sobre sus hojas; a la vez, también las protege de la suciedad (esporas, algas, polvo, etc...) ya que cuando las gotas de agua recorren la superficie de las hojas del loto, recogen todas las partículas, que no están adheridas a las hojas debido a dicho efecto. Lo que ocurre es que las partículas contaminantes tienen poca afinidad por la superficie de las hojas. Lo mismo le ocurre al agua y por eso las gotas recorren la superficie sin mojarlas. Por el contrario, estas partículas de suciedad tienen mayor afinidad por el agua, por lo que cuando esta pasa por los alrededores de dichas partículas, se adhieren a la gota dejando limpia la superficie de la hoja.”

- Ángulo de humectancia

“Divulgando: El ángulo de humectancia es el que forma la superficie de un líquido al depositarse sobre un sólido. El valor del ángulo de contacto depende principalmente de la relación que existe entre las fuerzas de adherencia entre el líquido y el sólido y las fuerzas cohesivas del líquido. Cuando las fuerzas de adherencia con la superficie del sólido son muy grandes en relación a las fuerzas cohesivas, el ángulo de humectancia es menor de 90° , teniendo como resultado que el líquido moja la superficie.

Podemos decir que una superficie hidrófoba tiene un ángulo de humectancia superior a 90° y una hidrofílica tendrá un ángulo inferior a 90° .”

- Molécula polar

“Divulgando: El agua es una sustancia polar, cuando se acerca a otra sustancia también polar como la arena (formada por sílice) hay una atracción de tipo eléctrico, los polos se orientan y se atraen como las cargas eléctricas. El agua moja a la arena.”

- Formas alotrópicas

“...El grafito es una de las formas alotrópicas (posibles estructuras sólidas) en las que se puede encontrar el carbono...”

D 4. Fenómenos difícilmente explicados con ejemplos cotidianos

En la guía didáctica, se encuentran numerosas aplicaciones y referencias a ejemplos cotidianos. Algunas de estas aplicaciones coinciden con las nombradas por los educadores en los cuestionarios, como por ejemplo los cosméticos, electrónica y salud. A continuación, recopilamos algunas de ellas:

“Esta plastilina magnética se inventó de forma accidental durante la Segunda Guerra Mundial, intentando buscar un sustituto para el caucho. Fue creada a partir de una mezcla de ácido bórico y aceite de silicona. En la actualidad se utiliza principalmente como juguete con el nombre comercial de Silly Putty..... material viscoelástico, y sus enlaces covalentes flexibles le confieren sus cualidades de fluidez y elasticidad, semejantes a las de la plastilina.”

“El filtro de privacidad para móviles (también existen para portátiles y monitores LCD), consiste en una lámina de plástico ligeramente oscurecida, que únicamente se muestra transparente (más bien translucido) cuando se mira...”

“Tenemos el concepto interiorizado de que las cremas solares se absorben en la piel y que sin embargo las pomadas tienen que permanecer sobre ella para que curen. Pero lo cierto es que para que una crema haga su papel protector tiene que permanecer sobre la superficie de la piel.

.... La crema solar es un ejemplo muy común de la nanotecnología. Muchos otros productos de belleza y salud también contienen nanopartículas, incluyendo cosméticos y pastas de dientes.”

“Todo ello hace que se trate del pigmento blanco más importante en la industria. Se puede encontrar también como aditivo alimenticio bajo el código de E-171, en pastas de dientes o en caramelos para la tos. Su principal aplicación es la fabricación de pigmentos que se utilizan en diversos sectores que van desde la aplicación en materiales cerámicos hasta la industria automovilística.”

“Una curiosa aplicación del óxido de titanio es la fabricación de pinturas que cambian de color en función del ángulo de observación. Esta propiedad se conoce como “efecto flip-flop” y se debe al tamaño nanométrico de las partículas de dióxido de titanio utilizadas, en cantidades determinadas.

En esta escala los átomos se agrupan formando cristales de 3-5nm capaces de dispersar la luz creando estas composiciones de color.”

“Divulgando: Un ejemplo cotidiano de una aplicación del óxido de titanio en tamaño nanométrico, la encontramos en los billetes de 50 euros. El número “50” se encuentra impreso con este tipo de tinta de forma que podemos observar cómo cambia de color en función del ángulo desde el que lo observemos.

En este caso, este efecto es utilizado para la detección de billetes falsos, así como para aumentar la complejidad de los procesos de falsificación.”

“Hoy en día podemos encontrar en el mercado objetos que modifican su color al producirse cambios en su temperatura. Este fenómeno puede tener muchas aplicaciones en la industria, pero el más obvio parece estar en la rama de la seguridad, ya que un cambio de color nos puede avisar de lo caliente que puede estar un determinado material. En esta fotografía tenemos una taza que, utilizando esta tecnología, nos avisa de si el contenido de la taza está caliente o frío, es decir, de si la podemos coger con las manos o si por el contrario hay que tener cuidado. Otra industria que le está sacando partido a esta propiedad, es la de ropa para bebés. Confeccionan prendas en las que los dibujos están serigrafiados utilizando estos pigmentos, de modo que, si el bebé aumenta de temperatura por encima de 38°C, los dibujos desaparecen avisando así de que el pequeño tiene fiebre.”



Fotografía 19. Experiencia 8 en la que aparece la aplicación de un body termocrómico

“...Pero a su vez este efecto puede acarrear problemas, sobre todo de visibilidad, por ejemplo en los parabrisas de los vehículos en invierno, o en los cascos de motoristas. El problema de la formación de vaho casi impidió el famoso salto desde la estratosfera de Félix Baumgartner.”

“Las aplicaciones principales del poliestireno son la fabricación de envases mediante extrusión-termoformado, y de objetos diversos mediante moldeo por inyección. Las formas expandida y extruida se emplean principalmente como aislantes térmicos en construcción y como elemento de protección en los embalajes de objetos frágiles.”

Es el caso de algunos termoplásticos. En este caso el plástico utilizado es un envase de “Petit Suisse” fabricado con poliestireno (PS). El poliestireno es un polímero constituido por moléculas que forman cadenas muy largas; cuando se moldea para fabricar los envases las cadenas se estiran. Al elevar la temperatura las cadenas tienden a recuperar su disposición inicial.”

“Divulgando: Se comienza preguntando a los alumnos: ¿Sabéis que todos los diamantes de las joyerías, algún día acabarán convirtiéndose en grafito, en mina de lápiz? Tardaran mucho tiempo, pero acabarán así. Esto ocurre porque el diamante y el grafito son lo mismo (desde el punto de vista de su composición, claro), están constituidos por los mismos átomos, carbono, solo se diferencian en la organización de estos en el espacio.”

D 5. Falta de comprensión de la relación estructura-propiedades de la materia

- Un ejemplo de esta relación se explora a través del experimento con Nitinol:

“El efecto “memoria de forma” no representa en sí un logro de la nanotecnología, pero permite la comprensión de los efectos del movimiento a nivel nanométrico.

El cambio estructural que se produce al variar la temperatura es debido a la transición entre dos estructuras cristalográficas distintas de un mismo material.

El mecanismo más común de transición de fase consiste en el desplazamiento de átomos de sus posiciones de equilibrio, mediante un proceso conocido como difusión, para adoptar una nueva estructura más estable en las condiciones de presión y temperatura a las que se encuentra el material.....

Las aleaciones con memoria de forma deben sus propiedades a una transición de fase entre una estructura de tipo “austenita” y una de tipo “martensita”.

La “martensita” (de baja temperatura) es una fase menos cúbica. Una vez que se ha generado por enfriamiento la fase “martensita”, se puede realizar fácilmente una deformación plástica (permanente), pero la transformación por calentamiento recupera la única estructura de tipo “austenita” posible. Este efecto, a escala macroscópica, se manifiesta en la recuperación de la forma inicial. Los metales con memoria tienen la propiedad de recordar su forma original, a la que vuelven al aplicarles un cambio de temperatura.”

- Otro ejemplo en el que se explora es en el experimento del circuito eléctrico con grafito:

...”Está formado por láminas de hexágonos de carbono, apiladas entre sí. A lo largo de las capas, se comporta como un conductor semimetálico. El grafeno también está formado por átomos de carbono dispuestos en un patrón regular hexagonal, similar al grafito, pero formando una única capa, es decir, una finísima lámina, de un solo átomo de espesor. Posee muchas propiedades sobresalientes: es transparente, flexible, extraordinariamente resistente, impermeable y conduce la electricidad mejor que ningún otro metal conocido.

A LA LUZ DE LA NANOESCALA

Las uniones entre los átomos de carbono de una misma lámina son muy fuertes, ya que son enlaces covalentes, en donde cada átomo de C está unido a otros tres, por lo que tienen una hibridación “sp²”. Esta hibridación supone que cada átomo de carbono tendrá un orbital “p” sin hibridar albergando un electrón desapareado.

Esto provoca que se forme una densidad electrónica deslocalizada por encima y por debajo de los anillos hexagonales, y esta deslocalización de la carga es lo que provoca la conducción eléctrica de este material. El carbono se comporta como un conductor a lo largo de una capa, pero sin embargo opone mucha más resistencia a la conducción perpendicular a las capas, comportándose como un semiconductor.

Por otro lado, las uniones entre los átomos de C de láminas diferentes es mucho más débil, ya que se tratan de interacciones de Van der Waals. Por esta razón el grafito se puede exfoliar, romper en capas, y esto es lo que le permite usarse como material para la punta de los lapiceros.”

- También aparece en la parte práctica del experimento “Circuito eléctrico con grafito”:

“Divulgando: Se comienza preguntando a los alumnos: ¿Sabéis que todos los diamantes de las joyerías, algún día acabarían convirtiéndose en grafito, en mina de lápiz?

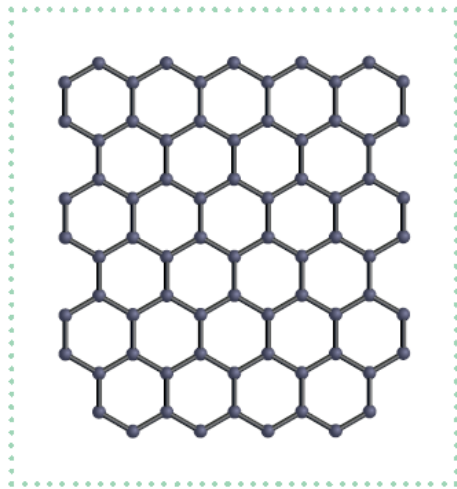
Tardarían mucho tiempo, pero acabarían así. Esto ocurre porque el diamante y el grafito son lo mismo (desde el punto de vista de su composición, claro), están constituidos por los mismos átomos, carbono, solo se diferencian en la organización de estos en el espacio.”

- Y encontramos este ejemplo en el que además se utiliza una de las estrategias divulgativas recogidas en el análisis de la formación para la divulgación de la Nanociencia; la vinculación micro-macro a través de un ejemplo.

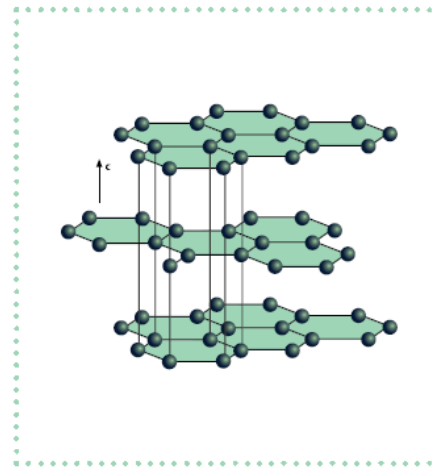
“Divulgando: ¿Alguna vez habéis visto cómo se reordenan los átomos? Vais a ver como se reordenan los átomos de este metal, al calentar el metal cambia de estructura recuperando la única estructura posible, de forma que vuelve a su forma inicial. Es como si todos los alumnos de esta clase que habitualmente ocupáis los mismos asientos, cambiaseis de ubicación, pero manteniendo el orden de la clase, de forma que el resultado fuese una clase más ordenada.”

D.6 Falta de visión espacial.

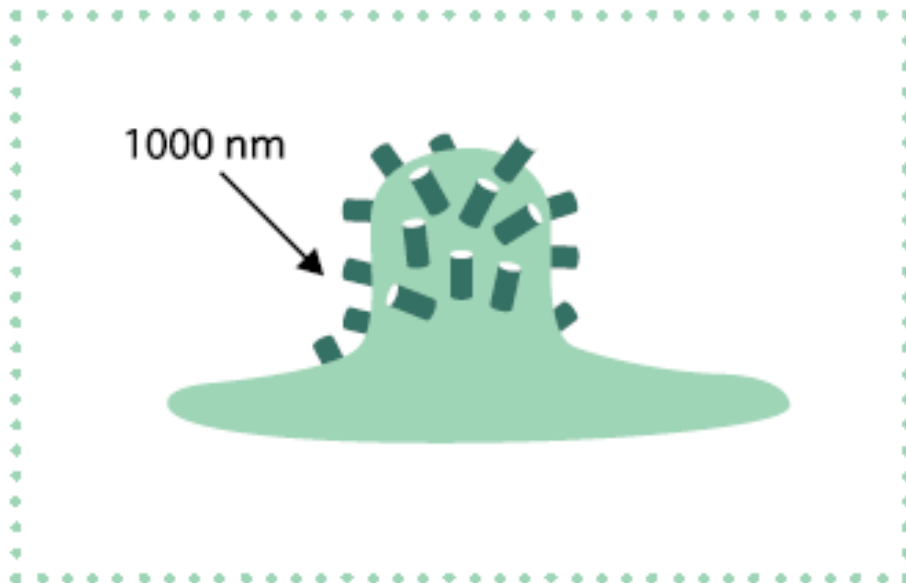
- Se presentan algunas imágenes para ilustrar y simular la tridimensionalidad:



Grafeno



Grafito



Protuberancias superficie hoja flor de loto

Fotografía 20. Ejemplos de representaciones gráficas de estructuras tridimensionales.

- Igualmente, se presentan estructuras geométricas en el texto escrito como: estructura tetragonal, octaédrica u ortorrómbica, aunque no cuentan con representación gráfica.

D.7 Exceso de información

Para minimizar el impacto del exceso de información, esta se presenta en una guía con una imagen atractiva que combina ilustraciones con fotografías para ilustrar los conceptos y los procedimientos experimentales.

La guía está estructurada en diferentes apartados y utiliza cajas y tramas de color para identificar la parte más teórica de la parte experimental, así como las explicaciones adaptadas a lenguaje divulgativo, para facilitar su identificación. También permite reconocer de manera sencilla los materiales para los experimentos y cuáles de ellos se encuentran en el maletín. El maletín lleva etiquetas de todo el material siguiendo la misma línea gráfica que la guía didáctica.

D.8. Contenidos fuera del currículo académico y

D.9. Dificultades para adaptar los contenidos al nivel

- A este respecto se recopilan unos objetivos generales y una serie de “sugerencias de uso” de la siguiente índole:

“Con el objetivo de seguir trabajando en la difusión de esta rama emergente de la ciencia, surge el proyecto “Los nanomartes” que a continuación pasamos a describir. En este proyecto se ha seleccionado un día semanal para dedicar a la profundización en la Nanociencia y sus aplicaciones. El docente realizará las actividades en el aula en coordinación con el resto del profesorado de su departamento y para ello utilizará esta guía y el material contenido en el maletín. Una vez finalizada la acción en un centro y a través de la coordinación del programa Ciencia Viva, los maletines itinerarán de un centro a otro.

El maletín consiste en una herramienta que contiene el material necesario para la realización de una serie de experiencias relacionadas con la nanociencia y sus aplicaciones, orientadas principalmente a alumnos de ESO y Bachillerato.

En esta guía didáctica encontrará la información necesaria para el correcto desarrollo de las experiencias, así como información adicional para la introducción de la actividad y la profundización en los aspectos teóricos. Algunas de las actividades propuestas requieren de materiales adicionales sencillos de conseguir que deberá preparar el docente para su realización en el aula, si lo considera oportuno.

Es recomendable, por tanto, la lectura previa de esta guía por parte del docente para que este pueda realizar una previsión para la organización de la clase de los medios necesarios, así como supervisar que el material del maletín se encuentra en buen estado.

El maletín está diseñado para que las actividades puedan realizarse de forma sencilla en el aula y para un número determinado de usos. En caso de deterioro de algún material póngase en contacto con el INA para la reposición del mismo así como si alguno de los materiales fungibles se termina antes de finalizar las sesiones programadas.”

D.10 Riesgo de crear una visión acientífica

Aunque se utilizan experimentos sorprendentes, se abordan desde unos fundamentos teóricos rigurosos. Esto es una constante en toda la guía, en la cual se repiten las palabras clave recopiladas en los cuestionarios de los educadores, y no se han localizado errores de fundamentos científicos en los conceptos de áreas de física, química o matemáticas.

D.11 Falta de motivación

Se identifican herramientas para fomentar la motivación de tipo metodológico, como por ejemplo el planteamiento de dedicar un día a la semana para conocer algo “nuevo” más allá de los contenidos curriculares (de donde viene el nombre del proyecto; los nanomartes) a través de metodologías para el desarrollo de la indagación como es la experimentación. Esto se refuerza con la utilización de experimentos llamativos, con resultados sorprendentes y con materiales singulares incluidos en el maletín, menos accesibles en las aulas.

D.12 Falta de referentes

En la guía se presentan dos figuras masculinas para reforzar la explicación de los contenidos. Se trata de la única referencia a investigadores en Nanociencia encontrada en la guía, que además permite incluir un contexto histórico (historia de la Nanociencia).

“...los investigadores de origen ruso Andre Geim (Sochi, 1958) y Konstantin Novoselov (Nizhny Tagil, 1974) recibieron el Premio Nobel de Física, por su obtención a partir de grafito.”

Discusión resultados

El proyecto Los Nanomartes se ha demostrado como una herramienta de introducción a la Nanociencia en las aulas capaz de motivar al alumnado y de promover la adquisición de conocimientos y habilidades relacionadas con la Nanociencia. Su diseño brindó nuevas perspectivas de enseñanza y divulgación de la Nanociencia y la Nanotecnología que han sido inspiración para otros proyectos.

Respecto al análisis del diseño y utilización de la herramienta podemos extraer una metodología tanto de aproximación a la Nanociencia, como de tipo protocolaria, respecto a su utilización en el aula. El formato de maletín experimental acompañado de guía didáctica y completado con formación a docentes sobre su uso, se presenta como una combinación apropiada que evidencia la viabilidad y permite proponer la estrategia pedagógica como instrumento de introducción y profundización de la Nanociencia en el aula.

Mediante este estudio, se pudo demostrar que se trata de una herramienta que motivo a los participantes, estudiantes de secundaria de Aragón, hacia conceptos relacionados con la Nanotecnología y sobre todo, que fue una herramienta bien valorada por los docentes y que ha despertado el interés y generado comportamientos favorables hacia la ciencia (Dierking, 2008).

Concretamente, también permitió establecer que experimentos fueron mejor valorados y cuales presentaban algún obstáculo o campo de mejora a pesar de que el peor valorado por los estudiantes, la cinta nanométrica, constituye una herramienta básica para facilitar la comprensión teórica a través de la experimentación, pidiendo a

los aprendices la medición de objetos de uso cotidiano en nanómetros (Rodríguez y Ávila, 2011). Este experimento es utilizado para explicar uno de los conceptos que se han determinado como claves en las fases anteriores de investigación (cuestionario y formación), como es el de “escala”.

La experiencia derivada de la implementación de Los Nanomartes demostró de forma cualitativa y cuantitativa que los estudiantes que participaron en la estrategia, plantearon explicaciones e ideas sobre conceptos básicos relacionados con Nanociencia y Nanotecnología, y los comunicaron a través de canales como los blogs (Romero y Traslaviña, 2020) o publicaciones de los centros educativos, mostrando resultados satisfactorios y graduales (Dierking, 2008) y fomentando de esta forma no solo la adquisición de competencias científicas, sino de comunicación.

También podemos destacar que se trata de una herramienta bien valorada por los docentes, ya que en algunos casos ha sido utilizada durante más de 3 cursos lectivos. Los docentes han valorado la guía didáctica como una herramienta clave, posiblemente por su presentación vinculando los aspectos a explicar desde las perspectivas “micro”-“macro” (Rubiano, 2015).

Respecto a los resultados del análisis de las estrategias y recursos para minimizar las dificultades y obstáculos en la divulgación de la Nanociencia, podemos concluir que la herramienta aborda todas las dificultades, aunque algunas de ellas en menor medida, por ello proponemos una serie de mejoras en esta línea, enfocadas a mejorar el abordaje de las dificultades menos contempladas.

D.2 Se hecha en falta la introducción de conceptos relacionados con la microscopía, que se han demostrado claves para la comprensión de la Nanociencia. Por ello se sugiere ampliar esta parte en el fundamento teórico explicando los diferentes tipos de microscopios, sus diferencias y funcionamiento, así como su alcance. Igualmente se sugiere incluir alguna experiencia adicional relacionada que permita en aprovechamiento más eficaz de un material de este potencial.

D.3 Se han identificado diferentes conceptos complejos, que requieren de conocimientos previos avanzados y cuyo repaso o explicación en la guía sería muy recomendable.

D.6 Para mejorar la visión espacial, se sugiere la incorporación de materiales que permitan la construcción de moléculas 3D, como, por ejemplo, los modelos moleculares, o completar la guía con una actividad de construcción de moléculas nanométricas utilizando materiales reciclados que pueda proporcionar el docente, como palillos y plastilina.

D. 8 y D. 9 Se echa en falta una propuesta de adaptación curricular y organización en el aula, si bien es cierto que se trata de información que se sugiere en la formación presencial a los docentes que utilizan el maletín, sería conveniente la incorporación de unas guías básicas en la guía, así como de una propuesta de alineamiento de los contenidos con el currículo académico y desglosado por niveles, de forma que se facilite al docente la implementación del proyecto en el aula.

D.11 Cabe resaltar que la experiencia peor valorada, es aquella que trabaja aspectos clave y que se han identificado como verdaderos obstáculos de tipo epistemológico para la comprensión de la Nanociencia (Sánchez-Mora, 2011), por lo que sería indispensable repensar esta práctica indispensable para hacerla más motivadora y atractiva para los estudiantes. Es necesario que la práctica emocione para despertar curiosidad por ella.

D12 Otra sugerencia interesante sería la de incluir referentes en la guía que sirvan como ejemplo de personas que han realizado aportaciones relevantes a este campo del saber, de forma que podamos trabajar temas tan relevantes como el fomento de vocaciones científicas en el campo de la Nanociencia.

BLOQUE 7: CONCLUSIONES

7.1. Conclusiones generales

El objetivo de esta investigación ha sido el de conocer los perfiles y dificultades que encuentran los educadores científicos en el desarrollo de la labor de divulgación de la Nanociencia y la Nanotecnología y analizar una formación y una herramienta didáctica tipo para la divulgación de la Nanociencia.

Hasta el momento no se habían analizado los perfiles de los divulgadores científicos de Nanociencia en España, por lo que esta investigación es una aportación inicial al conocimiento sobre el tema. Aun siendo conscientes de las limitaciones que presenta la muestra estudiada, nos basamos en ella para establecer un “perfil de educador” de manera inicial conectarlo con las dificultades que éstos detectan en el desarrollo de sus labores divulgadoras.

Atendiendo a la primera pregunta de investigación planteada, y en base al análisis detallado de los cuestionarios, se presenta un “perfil tipo” de educador de Nanociencia: Persona mayor de 33 años, igualdad de género, doctorado, con formación sobre todo en Ciencias Físicas y Químicas, con experiencia de más de 4 años en divulgación científica. Mayoritariamente estas personas desempeñan su función laboral en la Administración (funcionariado o laboral), con responsabilidad en la gestión de equipos de trabajo, y la compaginan con la divulgación, a la que dedican en torno al 25% del tiempo de su jornada laboral. Su percepción general es que la divulgación no se valora como se debería.

La muestra de estudio considera que la divulgación en Nanociencia es imprescindible y, que es necesario contar con conocimientos fundamentalmente del tema a difundir, pero también creen necesaria una formación en didáctica y en comunicación.

En relación con los conocimientos sobre Nanociencia (segunda pregunta de investigación), los educadores científicos que han formado parte del estudio utilizan palabras relacionadas con la Nanociencia, siendo “escala”, “estructura” y “nanómetro” las más abundantes. El uso de estos vocablos específicos es indicativo del conocimiento del contenido que poseen estos educadores y de la importancia de incluirlos a la hora de diseñar y ejecutar acciones de divulgación de la Nanociencia,

pero también de asegurarse que la audiencia los comprende, ya que son esenciales para la comprensión de otros conocimientos sobre la Nanociencia.

Sobre las herramientas didácticas orientadas a la divulgación de estos conceptos, destacan la utilización de símiles y ejemplos relacionados con objetos cotidianos y la realización de comparaciones entre el mundo microscópico y el macroscópico. También se presentan como indispensables, la utilización de aplicaciones y productos resultados de la investigación en Nanociencia y Nanotecnología.

En la valoración sobre la dimensión didáctica, los resultados muestran que los educadores utilizan ejemplos o símiles que facilitan establecer vinculaciones entre los mundos macroscópico y microscópico, además exponen numerosos ejemplos de aplicaciones de la Nanotecnología en situaciones cotidianas que, por tanto, puedan ser familiares para los destinatarios de la acción divulgadora. En cambio, en el diseño de actividades que plantean, apenas se definen los objetivos de las actividades y en la muestra analizada hay una ausencia total de diseño de estrategias para la adaptación de la divulgación en función del público objetivo.

Considerando la tercera pregunta de investigación de este trabajo exponemos destacan entre las dificultades la importancia de la formación, no solo de los contenidos a divulgar, sino también de formación en didáctica y el dominio de la competencia comunicativa. Entre las dificultades del público destinatario, apuntan a la dificultad en la capacidad de abstracción, lo que podría ser indicativo de que también resulta complicado para ellos mismos. El hecho de tratarse de un tema complejo para ellos mismos puede inducir a pensar que es imposible de comprender para los destinatarios.

Las dificultades registradas se podrían agrupar a su vez en tres grupos en función del agente que presenta la dificultad:

- Dificultades de los receptores de la divulgación, como por ejemplo la falta de conocimientos previos, el nivel de abstracción necesario o el escaso manejo de la escala nanométrica.
- Dificultades de los educadores, como la dificultad para la adaptación de los contenidos en función del nivel o el riesgo de divulgar una visión acientífica de la nanociencia.

- Dificultades de contexto, como la falta de alineación entre los contenidos de la Nanociencia y el currículo académico.

Otro de los factores que puede dificultar la comunicación y comprensión de la Nanociencia es el hecho de que aquellos que realizan la tarea divulgadora, no se dedican profesionalmente a esta tarea ya que poquísimos encuestados se dedican a la divulgación científica como trabajo principal y la mayoría lo compaginan con su trabajo principal. Esto podría ser un indicativo de lo difícil que es considerar la divulgación como un trabajo del que se pueda vivir dignamente. Por ello, avanzar en la definición de un perfil de educadores de Nanociencia y estudiar sus conocimientos y competencias, podría ayudar a paliar o minimizar esta dificultad.

Sobre la cuarta pregunta de investigación sobre los aspectos didácticos que debe contemplar una formación de educadores de Nanociencia, destaca la identificación de unos contenidos o conceptos clave sobre la Nanociencia que podrían ayudar a mejorar la comprensión de esta, y el punto de partida debería ser esa formación de los propios divulgadores de contenidos relacionados con la divulgación de la Nanociencia, dotándoles de ejemplos, herramientas y estrategias que puedan utilizar y donde se identifiquen los obstáculos y dificultades de la divulgación de la Nanociencia, de forma que sea más fácil afrontarlos y superarlos.

Para poder introducir al público destinatario conceptos clave sobre la Nanociencia, es importante, conocer en primer lugar, los aspectos que dificultan esta comprensión. Estrategias como la vinculación de los contenidos con las ideas previas y aspectos conocidos de la vida cotidiana, parece intuirse como una vía apropiada. Para salvar el obstáculo de falta de percepción de la escala y el tamaño en el que opera la Nanotecnología, las estrategias que han resultado más eficientes consisten en la utilización de metáforas y comparaciones de tamaños entre el mundo microscópico y el mundo macroscópico.

Dada la importancia otorgada a la necesidad de tener conocimientos sobre el tema a divulgar, formación didáctica y formación en comunicación, creemos que las necesidades identificadas en esta investigación deben servir para fortalecer estos

puntos y mejorar así las competencias de los futuros educadores científicos a través de su formación.

Respecto a las herramientas para la divulgación de la Nanociencia (quinta pregunta de investigación) que encontramos en diferentes formatos, debemos destacar la importancia de tres elementos:

- Que contemplen materiales singulares y menos accesibles para los docentes, de forma que su utilización en el aula promueva la motivación y despierte el interés de los participantes a través de la manipulación de materiales innovadores para llevar a cabo experimentos singulares con sus propias manos.
- Que esté acompañado de una guía didáctica con los contenidos explicados en un lenguaje accesible y con el protocolo de realización de los experimentos propuestos.
- Que sea de uso fácil y de implementación viable en el aula, teniendo en cuenta las peculiaridades de los centros educativos, y, por tanto, que facilite la labor docente.
- Que incluya una formación para los docentes tanto de tipo conceptual como metodológica para la ejecución de la actividad en el aula.
- Que aborde de manera eficiente las principales dificultades recogidas por los educadores científicos.

Por ello podemos concluir que Los Nanomartes, son una herramienta que aborda las dificultades detectadas para la divulgación de la Nanociencia de una manera efectiva y que podría servir de ejemplo para el diseño de herramientas de formato similar para la divulgación de la Nanociencia.

Por último, concluimos con la necesidad de evaluar la formación de los educadores de Nanociencia, así como las herramientas didácticas respecto a los objetivos para los que han sido creadas, como paso fundamental para la mejora de la divulgación y comprensión pública de la Nanociencia.

Futuras líneas de actuación

Para finalizar, recogemos una serie de posibilidades para continuar con las investigaciones propuestas y diferenciadas en base a los tres objetos de estudio de esta tesis:

Perfiles y dificultades

Respecto al primer componente de la tesis, es decir, el perfil de educador científico de Nanociencia, se podría ampliar la muestra de estudio para redefinir el perfil tipo. También se podría profundizar en aspectos como el análisis de sus actitudes hacia la labor divulgadora.

Otro interesante ámbito de estudio podría ser el de la perspectiva de género en la divulgación de la Nanociencia en eventos presenciales.

Dado que esta tesis se ha centrado en la divulgación llevada a cabo en eventos presenciales, se podrían analizar los perfiles, obstáculos y competencias, para la llevada a cabo en medios virtuales.

Formación

Futuras líneas de investigación podrían profundizar sobre los resultados y evaluación de la formación para educadores científicos, así como el de otros perfiles dedicados a la difusión y comunicación de la Nanociencia.

Igualmente podría diferenciarse en estudios sobre las diferencias y similitudes para la formación de docentes en tareas de divulgación de la Nanociencia.

Herramientas didácticas

Posteriores investigaciones, podrían profundizar en la evaluación de los conceptos y habilidades aprendidas, así como en aspectos motivacionales o de actitudes hacia la Nanociencia a través de la herramienta Los Nanomartes.

Igualmente, un ámbito de estudio interesante sería el de la revisión de aspectos de inclusividad y atención a la diversidad en el diseño e implementación de herramientas didácticas para la divulgación de la Nanociencia.

ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario

* Indica que la pregunta es obligatoria

1. Edad*

menor 18

18-22

23-25

26-33

más de 33

2. Sexo*

Mujer

Hombre

Otro

3. Ciudad de residencia*

4. Formación:*

Doctorado

Máster universitario

Postgrado

Licenciatura/Grado

Diplomatura universitaria

Formación Profesional Grado Superior

Formación Profesional Grado Medio

Bachillerato

Sin estudios reglados

Otro

Otro:

5. Titulación*

6. Experiencia en divulgación científica*

Sí

No

7. Experiencia en divulgación científica (en años)*

Menos de 1 año

Entre 1 y 3 años
Entre 4 y 7 años
Entre 8 y 10 años
Más de 10 años

8. Situación laboral actual*

Personal (Funcionariado) en la Administración
Personal (Laboral) en la Administración
Empresaria/o
Autónoma/o
Empleada/o por cuenta ajena (contrato indefinido)
Contrato fijo-discontinuo
Temporal
Contrato de formación
En prácticas
A tiempo parcial
En paro
Jubilada/o
Estudiante
Otra

9. ¿Tienes personal a tu cargo?*

No
Soy responsable de un equipo de trabajo
Trabajo con un equipo en situación de igualdad
Trabajo solo/a
Otra opción

10. ¿Trabajas en colaboración con otras personas, empresas o entidades?*

No
Ocasionalmente
Habitualmente

11. En caso afirmativo, ¿cuáles?

12. Tipo de público al que se dirige la divulgación que has realizado o realizas (puedes elegir varias opciones)*

Alumnado de infantil
Alumnado de primaria
de secundaria
Alumnado de bachillerato
Alumnado universitario
Alumnado Formación Profesional
Actividades organizadas por empresas
Actividades organizadas por administraciones
Indiscriminado
Otro:

13. ¿Cómo se relaciona tu actual puesto de trabajo con la divulgación científica?*

No se relaciona en absoluto

Compagino la divulgación con mi trabajo principal

La divulgación científica es mi trabajo principal, pero lo compagino con otros trabajos

Mi dedicación a la divulgación científica es total pero no percibo ingresos por ello

Mi dedicación a la divulgación científica es total

Otro:

14. ¿Qué porcentaje de tu trabajo habitual estimas que se dedica a la divulgación científica?*

Menos del 25%

Entre el 25 y el 50%

Entre el 50 y el 75%

Más del 75%

15. Cómo explicarías con tu propias palabras qué es la Nanociencia*

16. Las propiedades de una sustancia pueden cambiar con variables como la temperatura o la presión, pero, ¿podrías explicar si cambian también en función del tamaño? Explica tu respuesta*

17. ¿Se pueden ver las estructuras nanométricas? Explica tu respuesta*

18. ¿Sabes qué es el "efecto Lotus" y por qué se llama así? Explica en qué consiste este fenómeno*

19. ¿En qué modelo de enseñanza te basarías para enseñar un aspecto relacionado con la Nanociencia? Justifica tu respuesta*

20. ¿Podrías señalar alguna dificultad vinculada con el aprendizaje de la Nanociencia para alumnos de Educación primaria? Justifica tu respuesta.*

21. ¿Y en Educación secundaria? Justifica tu respuesta*

22. ¿En qué medida crees que es importante la divulgación de la Nanociencia?*

Nada importante

Poco importante

Importante

Bastante importante

Imprescindible

23. Describe tres razones por las que consideras que es importante*

24. Diseña una actividad (con objetivos concretos) que usarías para introducir un tema concreto de Nanociencia a alguien que la desconoce por completo.*

25. ¿Cuál ha sido tu motivación principal para hacer divulgación?*

26. ¿Qué formación crees que debe tener un divulgador?*

27. ¿En qué medida crees que es necesario tener conocimientos sobre el tema a divulgar?*

1 – 2 – 3 – 4 - 5

28. ¿En qué medida crees que es necesario tener formación didáctica?*

1 – 2 – 3 – 4 - 5

29. ¿En qué medida crees que es necesario tener formación en comunicación?*

1 – 2 – 3 – 4 - 5

30. Nombra las tres principales aptitudes que según tu opinión debería tener un divulgador*

31. ¿En qué medida crees que la divulgación está valorada en nuestra sociedad?*

No se valora en absoluto

No se valora tanto como debería

Se valora de forma adecuada

Está sobrevalorada

32. ¿Crees que la crisis sanitaria por COVID-19 ha mejorado la valoración de la divulgación científica?*

Sí

No

33. Si la respuesta anterior es "Sí", ¿en qué medida?

1 – 2 – 3 – 4 - 5

34. ¿Te gustaría dedicarte a la divulgación científica de manera profesional?

Lo considero una actividad temporal

Me gustaría dedicarme profesionalmente a la divulgación, pero creo que se trata de un trabajo que solo es posible desarrollar en una etapa de la vida

La divulgación es una salida profesional emergente

Me gustaría dedicarme profesionalmente a la divulgación para siempre

Anexo 2. Presentación utilizada en la formación sobre divulgación de la Nanociencia y la Nanotecnología



1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



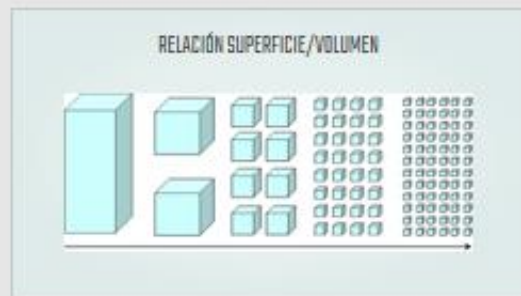
11



12



13



14



15



16



17



18



19



20



21



22



23



24



Presentación realizada con la herramienta Slidego

Anexo 3. Transcripción y codificación de la formación sobre divulgación de la Nanociencia

“Comenzamos con los objetivos de la sesión de hoy, que son agrupar las herramientas, metodologías, etc que se vienen utilizando en los últimos años para la divulgación de la nanociencia y la nanotecnología.

El objetivo es que os sirva de contexto general principalmente para la ejecución de actividades de divulgación, pero también para diseñar vuestras propias actividades de divulgación científica de nanociencia.

Imaginad que os interesa ir a la siguiente “Noche de los Investigadores” y que os enfrentáis a la realización de una actividad de divulgación. Es posible que ya tengáis experiencia. Hoy en día la divulgación está más integrada en el currículo académico, pero teniendo en cuenta algunos matices, ya que vuestro perfil implica el conocimiento de los conceptos científicos, que tenéis bastante interiorizados.

El objetivo por tanto es que os quedéis con una visión general de los aspectos clave y en otras posibles formaciones se podría profundizar o evaluar, etc.

Con el tema de la divulgación de la nanociencia tenemos varios retos que yo resumo en tres:

Nosotros como científicos muchas veces no somos conscientes, pero sí la audiencia a la que nos dirigimos y en los contextos de los que vamos a hablar:

- 1) La nanociencia implica una serie de conceptos que no podemos ver. En el caso de otras ramas, podemos ver una reacción, una reacción de oxidación, podemos observarlo.*
- 2) Es anti-intuitiva; la intuición deja de funcionar. Todas las leyes que nos han enseñado y a las que estamos acostumbrados en el mundo “grande” ya no sirven. Las leyes de la mecánica clásica ya no funcionan en la nanoescala y en cambio, entran a formar parte del juego, leyes de la mecánica cuántica que requieren de*
- 3) Conocimientos previos, que estudiantes de cursos superiores o público especializado puede conocer, pero no las familias que vienen a disfrutar de estos eventos. Hay veces que los niños son tan pequeños, que no conocen ni siquiera conceptos básicos de matemáticas o de otras ramas necesarias.*

Teniendo claros estos retos por la materia objeto de divulgación a la que nos enfrentamos, los objetivos de la jornada son estos 5 bloques.

Algunas de las cosas os sonaran y sobre todo los conceptos científicos los conoceréis, pero dejadme que os las vaya introduciendo porque si no las contamos en el contexto de la actividad, pueden pasar desapercibidas y dan lugar a incidencias muy curiosas.

Anécdota: Uno de los primeros proyectos que llevamos a cabo fue una exposición para educación primaria y entre los módulos que tenía, incluía un hinchable gigante que representa un fullereno (como los hinchables de las ferias). Hicimos la formación a dos educadoras, repasando todos los contenidos teóricos, los experimentos que tenían que hacer, la visita guiada, y luego cuando transcurrió el evento, les ocurrió que uno de los visitantes, les preguntó que qué era el hinchable dentro del cual estaban realizando las actividades y no supieron contestarle. Justamente no le habíamos explicado, “vas a estar dentro de un fullereno o una estructura hinchable que representa un fullereno” porque dimos por hecho que era algo obvio para ellas, y son detalles como este los que nos hacen prestar atención a estas cosas que parecen triviales.

En primer lugar:

Definición y Dimensión de la que estamos hablando

Estructura atómica

Inspiración de la nanotecnología en la naturaleza

Investigación y por tanto, temas de microscopía y aplicaciones

Materiales sorprendentes, formatos, herramientas

Empezamos por el principio, “qué es la nanociencia”. Si buscamos en cualquier libro de texto, nos dirá que es la ciencia que estudia la materia en la escala del nanómetro, es decir, 10⁻⁹m. Vuelvo a lo que comentaba al principio, mucha de la audiencia a la que nos vamos a dirigir no sabe ni lo que es materia, ni muchísimo menos controla las potencias de diez, ni sabe las escalas, no sabe cuales son las unidades cm, mm...

Empezaremos siempre relacionándolo con el prefijo “nano” que viene del griego y que significa enano, una palabra que es muy intuitiva y que todo el mundo conoce, incluso los más pequeños porque a ellos mismos se les llama “nanos” cariñosamente y que viene a ayudarnos o servir de enganche para focalizarnos en las ideas previas. Siempre tenemos que orientar la divulgación hacia las ideas previas que tiene la audiencia, que siempre existen, siempre tienen, por muy básicas y fundamentales que sean. Por ello, el concepto nano nos indica que la nanociencia va a ser la ciencia que se ocupa de estudiar las cosas muy muy muy pequeñas. ¿Y cuánto de pequeñas?, bueno pues ahora hablaremos de en qué escala nos estamos moviendo, porque para ello tenemos que hablar de “la escala de las cosas”, pero es importante hacer la diferenciación con nanotecnología, que sería la aplicación de ese estudio para obtener dispositivos, medicamentos, cosas electrónicas, basadas en esa ciencia. Sería como el proceso ingenieril que, una vez que tenemos ese conocimiento científico nos permite obtener aplicaciones que nos sirvan.

Os decía, ¿cuánto de pequeño? ¿en qué escala nos estamos moviendo? Bueno pues fijaos, una forma de conectar en este momento con la audiencia dado que muchas veces no conocen la escala métrica decimal, sí que o sirve mucho el hablar de que un niño pequeño puede no saber que es un nanómetro,

pero cuando se va de viaje, habla de kilómetros. ¿a cuántos km de distancia está mi pueblo? O que el mismo se mide (su estatura) en centímetros y que en el mundo macro, en el mundo que podemos ver, hay diferentes tamaños porque nos puede parecer que una montaña es muy grande con respecto a nosotros mismos, pero si la comparamos con la tierra es muy pequeña, y a su vez la tierra que os parece muy grande, si la comparamos con el sol también es muy pequeña. Pues estas diferencias de tamaño ocurren también en el mundo microscópico, el que no podemos ver. Un objeto visto al microscopio nos puede parecer muy pequeño, (por eso necesitamos un microscopio para verlo), pero sería muchíiiiisimo más grande que un nanómetro).

Para ello es muy útil medir objetos cotidianos en **nanómetros** por ejemplo, para hacer entender que se trata de una unidad más, que nosotros habitualmente no utilizamos porque es tan pequeña, que los objetos que nos rodean, medirían muchiiiiiiiisimos nanómetros, y por ello es más sencillo manejarse con unidades más grandes como el cm o el metro.

Si medimos nuestra mano, no es que esta sea gigante porque nos sale que mide varios millones de nanómetros, sino que la estamos midiendo en un tamaño muy pequeño. Y por ello es gigante con respecto a ese tamaño, no porque sea enorme en realidad, sino con respecto a la unidad con la que lo comparamos (o medimos). No es que sea gigante de por sí, sino con respecto a lo que lo comparamos.

¿Cuántos nanómetros mide tu brazo? ¿Tu estuche o bolígrafo? ¿O tu ojo?

Una peca de tu brazo, cuánto mide, muchísimos nanómetros

Para los que ya conocen algo de la **escala métrica decimal**, me gusta utilizarlos a ellos mismo como ejemplo **y compararlos** a ellos mismos (su tamaño) con objetos que vamos a ir reduciendo en un orden de 10 veces más pequeño en cada caso, utilizando ejemplos de cosas que midan esos tamaños. De tal forma, que un niño se mide en metros, si reduzco 10 veces, me voy al decímetro. Cosas que se podrían medir en decímetros serían un libro (aunque no estamos acostumbrados a medir en decímetros), si reducimos otros 10 órdenes de magnitud, nos vamos al cm, una moneda o un dado, si reducimos otras 10 veces, nos vamos al milímetro y cosas que tiene sentido medir en milímetros, por **ejemplo**, una hormiga o la punta de un lapicero.

Vale, aquí hago un inciso porque ahora si cogemos el niño, como está representado en el dibujo (presentación) y el insecto, hemos reducido el tamaño tres veces 10, por lo tanto podemos decir que un insecto es 1000 veces ($10 \times 10 \times 10$) más pequeño que un humano, si reducimos nuevamente 10 veces, llegamos a 0,1ml, y las cosas de este tamaño, están en el límite de lo que podemos ver con nuestros ojos (esto lo podemos relacionar con temas de microscopía, como veremos luego): ejemplo, una parte del ala de un insecto, de una abeja, por ejemplo. Seguimos bajando y jugando a este juego, bajando de 10 unidades en 10 en tamaño, y cuando hayamos bajado otras 3 veces 10, nos encontraremos otra unidad muy utilizada como es la micra. Cosas que se pueden medir en micras las bacterias. Si reducimos 10 veces el tamaño de una micra, ya llegamos al punto al que ya no podemos ver ni siquiera con un

microscopio óptico que es lo que necesitaríamos para ver todas las anteriores. Si seguimos bajando, podemos bajar, 10 veces una micra, llegando a orgánulos de una célula, después a los virus, que es algo que podemos utilizar porque también nos permite vincular con **ideas previas**, ya que todos nos hemos puesto enfermos alguna vez, entonces, no sabemos como es un virus, ni tenemos interiorizada su estructura ni mucho menos, ni nos hacemos una idea de su tamaño, pero sabemos que es algo que existe y que en algunas ocasiones hace que nos pongamos malitos, nos sirve como ejemplo de algo de ese tamaño, que la audiencia puede conocer y así bajamos otro bloque de 3 veces 10 llegamos al **nanómetro**.

Hago otro breve inciso y es que, si bajase 10 veces más del nanómetro llego al Amstrong, que es la distancia en la que se miden los **átomos**. Por lo tanto, el **nanómetro** sería lo que utilizaríamos para medir por ejemplo el diámetro de esta cadena de ADN, (la longitud puede ser hasta 2m). Hemos bajado 9 veces 10 desde el metro, por eso, el diámetro de una molécula de ADN, es mil millones de veces más pequeño que nosotros (que un niño).

Esta estrategia, sirve, como os digo, en función de la edad, para poder introducir el concepto de **átomo**, **mundo microscópico**, **mundo macroscópico**, **escala** e incluso **microscopía**: hasta donde podemos ver con nuestro ojo, hasta donde con un **microscopio** óptico, es decir que utiliza la luz, y donde este ya no me sirve, porque la luz es más grande que lo que quiero ver y por ello tengo que utilizar **microscopios** electrónicos (electrones en lugar de fotones).

Estas imágenes son de un cuento que se llama "El mundo secreto de Nanoelia", es un álbum ilustrado en castellano (escrito en rima) de introducción a la nanociencia y estas son las imágenes que he utilizado para ilustrar esta parte.

Y os estaréis preguntando, pero ¿la composición de la materia ha existido siempre? Los átomos siempre han existido, ¿porque ahora se ha vuelto tan famosa la nanociencia?

Bueno pues lo que ocurre muchas veces en la ciencia, que hasta que no contamos con dispositivos o tecnología que nos permita explorar una cosa, no podemos comprenderla ni avanzar en su conocimiento.

Lógicamente la nanociencia siempre ha estado ahí, porque, como hemos dicho, forma parte de la naturaleza, pero no se empezó a indagar antes.

Seguro que habéis oído la famosa conferencia que dio el considerado "padre de la nanociencia" Richard Feynman en la que dijo "there is plenty of room at the bottom" y que viene a intuir una de las formas de trabajo (esto da para otra formación) que se llamó top-bottom.

Cuando nos aproximamos a la nanociencia tenemos dos opciones o ir desde lo macro a lo nano o desde lo nano a lo macro, esto da lugar a dos tipos de formas de trabajo. En ese momento él hablaba de partiendo del mundo macro, cada vez hacia una escala menor y 50 años después se trabajó a la inversa.

Tanguchi fue el primero en introducir el concepto de **nanociencia** y Drexler, otro de los actores clave, es el primero que habló de **nanomáquinas**.

Aquí hago otra pequeña **aclaración**, porque muchas veces os encontraréis cuando hagáis divulgación de la nano que hablas de nanomáquina y la gente se piensa que son como máquinas diminutas que recorren nuestro cuerpo, por el torrente sanguíneo para detectar enfermedades y depositar ahí el láser o lo que lleve incorporado, como si fuesen robots miniaturizados, tienden a miniaturizar objetos del mundo macro, cuando ya sabéis que en realidad **una nanomáquina viene a ser un compuesto biológico que se parece más a una proteína o biomolécula, que otra cosa**.

¿Por qué os cuento esto? Porque a veces algunas de las actividades que se hacen en divulgación incluyen perspectivas históricas, o porque esto también se puede utilizar como punto de partida para diseñar actividades tipo Timeline con los hitos más importantes (donde podríamos incluir el descubrimiento del **grafeno** en 2004, por la que recibieron el premio Nobel, que se me ha olvidado incluirlo en esta presentación) o unas flashcards con los protagonistas principales en la historia de la nanociencia, por **ejemplo** y actividades de carácter más conceptual y transversal. Todo esto se puede completar con una actividad más experimental, por **ejemplo**, en la que los participantes emulan el procedimiento que condujo al descubrimiento del grafeno (la exfoliación mecánica de **grafito**) ya que mucha gente se sorprende de que de esta forma se descubriese este nuevo y revolucionario material. Simplemente hay que coger un fragmento de mina de lápiz y un trozo de celo e ir exfoliando capas. El resultado se puede observar al **microscopio** para poder visualizar la estructura en capas y sacar conclusiones o combinarlo con un taller de fabricación de un circuito eléctrico, en el que el interruptor es un papel pintado con grafito, para hablar de las propiedades de conductividad eléctrica del grafito y del grafeno.

(como hacéis vosotros en la Sala Blanca del INMA).

Este método no es muy eficiente, pero da muy buena pureza y esto se puede vincular con líneas de investigación que lleváis a cabo en vuestro instituto para la obtención de grafeno de calidad y explorar otros métodos más eficientes.

Esto sería una forma de hacer una actividad conceptual combinada con otra más experimental.

Un **ejemplo** imprescindible sería la lupa sería una herramienta indispensable para cualquier actividad de introducción la nanociencia ya que cualquier actividad que te permita observar como son las cosas, su estructura, es un punto de partida imprescindible para conocer sus propiedades.

Otra actividad muy útil es hacer un dominó, en el que, en lugar de números, utilizamos imágenes micro-macro y la dinámica consiste en unir las imágenes macro con las micro correspondientes. O un juego en el que hay que adivinar a qué objetos del mundo macro, corresponden varias imágenes microscópicas. Llama mucho la atención algunos **ejemplos** como el "velcro". Una imagen del velcro al **microscopio**, nos permite ver literalmente, unos ganchos que son los que hacen que la parte mullidita se quede pegada, por que se "enganchan" a esta. Esto ayuda mucho a comprender el cómo en función de como se ordenan

los átomos en el mundo nano, esto tiene una implicación en cuales serán sus propiedades en el mundo macro.

Voy ahora con los que yo llamo, los 3 pilares de la divulgación de la Nanociencia, según mi opinión:

Por un lado, la estructura atómica. Todas las cosas que nos rodean, incluso nosotros mismos, estamos formados por átomos, y en función de cómo estos se ordenan, un material será conductor, o aislante, será magnético, tendrá un color u otro, será más o menos brillante, es decir, tendrá unas propiedades u otras. Luego veremos ejemplos.

Las leyes del mundo macro ya no funcionan, pero si otras como las leyes cuánticas, como el efecto túnel, **por ejemplo**, en el que se basa el microscopio de efecto túnel, pero también de fenómenos relativistas, relacionados con la teoría de la relatividad, y también, uno muy importante, que es el de la relación superficie/volumen, que abordaremos a continuación.

Por último. La importancia del tamaño, el manipular unos cuantos átomos de un material, nos permite explorar unas propiedades (y por tanto unas aplicaciones), que son diferentes cuando tenemos mucha más cantidad de esa misma sustancia.

Este clic en el cerebro, de que estamos hablando de la misma sustancia, pero en función de su estructura me va a dar unas propiedades u otras. Este **ejemplo** se utiliza desde hace mucho tiempo es el diamante y grafito, para interiorizar este concepto.

El **ejemplo** del carbono, como comentábamos. Todos conocemos que aspecto tiene una punta de un lápiz y un diamante pero existen más formas alotrópicas del carbono (algunas han existido siempre, otras se han sintetizado) por ejemplo, estos modelos moleculares que tengo aquí:

- El **fullereno**, que es la tercera forma alotrópica más estable del C. El más famoso es el C60, que está formado por hexágonos y pentágonos, cuyos vértices son los átomos de C y que se llama así en honor a Buckminster Fullereno, un arquitecto que diseñaba cúpulas con esta geometría. Siempre les invitamos a pensar...**¿ a qué os recuerda esta estructura?** Y os sorprenderá saber que muchas veces la audiencia adivina que se parece a un balón de futbol, porque como comentábamos antes, nos lo llevamos a su terreno, a cosas conocidas para ellos, conectando con las **ideas previas**. Y como cualquier balón de futbol es una estructura hueca en su interior y que además es muy ligera porque dentro está vacía, pero muy resistente porque está armado de tal forma que le confiere mucha estabilidad. Esto lo contamos para poderlo vincular con sus propiedades. Si hemos hablado de que es hueca, es más sencillo pensar que puede utilizarse para consistencia o resistencia a materiales (composites, **por ejemplo**) o para albergar cosas en su interior, como si fuese una cápsula que nos permite trasladar un medicamento, para hacer liberación controlada de fármacos.
- Hemos hablado antes del **grafito**. La punta del lápiz. El grafito son diversas capas apiladas de **grafeno**. Si cogemos una sola de esas capas, tenemos el **grafeno**, que llaman, el material del

futuro por todas las potenciales aplicaciones que tiene, ya que estamos hablando de un material que es tan fino que solo tiene un átomo de espesor y que permitiría la obtención de láminas conductoras flexibles, con las correspondientes aplicaciones. Para ver esto hay una experiencia muy útil que se puede combinar con la que comentábamos antes de exfoliación del grafito, y que es fabricar un circuito eléctrico en el que el interruptor sea una hoja de papel pintada con grafito. De esta forma explicamos las propiedades conductoras del grafito. El grafito es conductor en cada capa, no entre capas. Por lo tanto, si quitamos capas y nos quedamos sólo con una, tenemos el conductor perfecto. Muchas veces hacemos la broma de que el grafeno no se puede apagar, es tan buen conductor que no se puede apagar. Y tendría muchas aplicaciones.

- Si cogemos una lámina de grafeno y la enrollamos sobre sí misma, obtenemos también los nanotubos. También los hay de diferente estructura, pero el más sencillo, sería así, una lámina enrollada sobre sí misma. Aquí tenemos otra estructura singular ya que, al estar hueca en el interior, también es muy ligera, pero como tiene esa estructura de cilindro hueco, como si de una columna se tratase, tenemos una estructura muy resistente. Por ello se podría utilizar para dar dureza y resistencia a los materiales.

¿Cómo presentamos todo esto?

Podemos utilizar, por ejemplo, modelos moleculares, como tenemos aquí, y si no tenemos se pueden utilizar plastilina y palillos, bolas de poliespán, un montón de recursos. Se pueden sacar los desarrollos de estas figuras geométricas y que la audiencia las recorte y construya, como recurso en clase de matemáticas. También hemos hecho representaciones de nanotubos, utilizando láminas transparentes con la trama hexagonal impresa, como esta, con una rejilla tipo panal de abejas impresa, de forma que ellos construyen el tubo y así emulan la formación de un nanotubo.

Con todo lo que hemos visto hasta ahora, podemos plantear diferentes actividades:

Por ejemplo, respecto a la organización de la materia, lo que os dicho, las fundamentales las he marcado en otro color. La herramienta indispensable, la lupa y el microscopio.

Lo formatos: memory, dominó, formatos clásicos para eventos, funcionan muy bien. Y siempre la fórmula del éxito, combinar actividades más conceptuales con otras de carácter más experimental.

Ejemplos tipo de los alótropos de C, hay una estrategia que funciona muy bien que es el de la comparación de tamaños. Esto se queda grabado a fuego y nos permite llegar a esa audiencia que comentábamos antes, de los más pequeños y que me lleva al principio de la explicación.

Un fullereno, si lo comparamos con el balón de fútbol que todos hemos visto antes que comparaban y conocían, su tamaño sería el equivalente al de comparar ese balón de fútbol con el del planeta tierra.

Un nanotubo si lo **comparamos** con el grosor de uno de nuestros cabellos, sería el equivalente a compararlo con un macro túnel.

Estos juegos de comparar con un simple dibujo o fotografía funcionan muy bien.

Este es el ejemplo que os contaba del dominó. Iban impresas en una especie de cojines de gomaespuma de alta densidad. Este es un ejemplo de un tejido. Con una lupa de 50 aumentos ya se observa el entramado de hilos y como están tejidos.

A la de insecto, patas, y otros elementos biológicos.

Para abordar el concepto de porque en el mundo nano no funcionan las leyes del mundo macro, tenemos actividades como. Tenemos que echar mano del ingenio, algunas de las que he utilizado y mejor funcionan son las que indagan sobre la relación superficie/volumen.

Hay algunas que son más conceptuales por **ejemplo** esta utiliza dados. Construimos una estructura más grande utilizando dados, como si fuesen partículas y después calculamos matemáticamente como varía la relación superficie/volumen de un solo dado con respecto a la estructura que hemos construido. Esto se puede trasladar a un taller más experimental en el que podemos hacer un experimento en el que utilizamos unas pastillas efervescentes. En un mortero machacamos una de las pastillas, y la otra la dejamos tal cual.

Ahora las introducimos cada una en un Erlenmeyer con agua. Y cerramos ambos con un globo, de esta forma.

Cuando la pastilla se disuelva, dará lugar a un gas (CO₂) que generará una presión al expandirse que conseguirá hinchar los globos. En el caso en el que hemos utilizado la pastilla machacada, este proceso será mucho más rápido, porque la superficie de contacto es mucho mayor y por tanto la velocidad de la reacción aumenta. Para medir el tiempo, utilizamos un cronómetro. Cuando aumentamos la relación superficie/volumen, las propiedades cambian. Esta actividad nos sirve para reforzar el concepto de que cuando trabajamos con partículas muy pequeñas, con **átomos**, casi, la superficie de contacto es muchísimo mayor que el que supondría coger la misma cantidad de esa sustancia junta. Y otro muy chulo y llamativo, más apto para un formato de demostración o show científico, podría ser utilizar una sustancia llamada licopodio, que son unas esporas de naturaleza oleaginosas. Este polvo está muy finamente dividido. Si cogemos un puñado y le acercamos una llama, no ocurre nada, pero si espolvoreamos esta misma cantidad en el aire, es decir, si insuflamos aire y lo ponemos igualmente en contacto con la llama, se genera una llamarada instantánea y sorprendente (como un tragafuego). Aquí lógicamente lo que estamos haciendo es insuflar aire, que es lo que nos permite que tenga lugar esa combustión, pero como estamos aumentando muchísimo, la superficie de contacto del oxígeno del aire con estas partículas, la reacción es esa llamarada tan visual y que nos permite captar la atención para explicar este concepto.

Vale, repetimos. La **nanociencia** siempre ha formado parte de la naturaleza, y muchas veces la **nanotecnología**, se inspira en la naturaleza. Os cuento algunos **ejemplos** que llaman mucho la atención para explicar esto:

La flor de loto. Por estas latitudes no tenemos muchas flores de loto pero podemos utilizar otras plantas. La idea es presentar una superficie que no se moja, que es lo que se conoce como **hidrofobicidad: odio o/repulsión al agua**. Es muy impactante ver un video en el que se derrama, no solo agua, sino otros líquidos como la miel y ver como resbala por la superficie de la hoja y no deja ni rastro porque no llega a entrar en contacto con la superficie. Esto se puede hacer con hojas de col, que son más accesibles. De hecho, en el maletín que veremos luego, vamos a utilizar esto que tengo en la mesa como mantel, que es **tisu-sec** o cualquier mantel hidrofóbico, porque dependiendo de la edad de los materiales podemos utilizar un material u otro. Después veremos una demostración relacionada muy espectacular para la que utilizaremos arena hidrofóbica, que es muy útil para niños muy pequeños, porque ellos conocen la arena, están acostumbrados a manipularla y saben lo que ocurre cuando la arena normal se moja (en el parque, en la playa, etc.) y saben que si se moja se forma un barro divertido con el que jugar pero **pringosos** y por ello es sorprendente ver como esta arena "especial" **no se moja porque es hidrofóbica**. Yo les digo que es **como si cada granito de arena, se hubiese puesto un chubasquero, y por eso no se moja**. Y el efecto es tal que puedo meter la mano en el vaso lleno de agua y sacar la arena completamente seca. También lo puedo repetir y volver a reutilizar y jugar.

Con chavales más mayores, se puede completar con una práctica para calcular el llamado "ángulo de humectancia" es decir, yo puedo echar unas cuantas gotas con un cuentagotas en diferentes superficies y medir con ayuda de un transportador, el ángulo de humectancia, el ángulo que forma la gota con la superficie y que es el que nos sirve para medir cuanto se moja una superficie, y por tanto saber de manera cualitativa, cuánto de hidrofóbica es una sustancia o superficie ya que a mayor ángulo, más se moja.

¿Qué explicamos aquí? Nosotros tendemos a pensar que un material, cuanto más liso, más limpio es, o mejor dicho, mejor se va a limpiar. Pero en realidad, **¿que explicamos con esa actividad?** Pues que a nivel nanométrico, la hoja de loto tiene unas protuberancias, como si fuesen unos montículos que hacen que la gota no llegue a tocar la superficie. La gota está como sujeta por esas estructuras.

Otro experimento muy chulo es el relacionado con la adherencia, y esto da mucho juego **al vincularlo con superhéroes** (poderes como el de Spiderman, de poder subir por las paredes). En este caso, la inspiración la encontramos en el geco, que lo que tiene son unos pelitos que hacen que se adhiera a cualquier superficie y que han sido ampliamente estudiados para aplicaciones como pegamentos y adhesivos.

La mariposa Morfo, que tiene unas alas que muestran iridiscencia, con unos tonos azulados muy chulos y que nos abre todo mundo de contenidos a explicar, al introducir el concepto de la luz en la **nanoescala**, como en función del ángulo en el que incida la luz, veo un color u otro. Explorar la luz en la **nanoescala**

nos permite explicar como un material nano estructurado con una especie de rejilla en la que dependiendo como incida la luz vemos un color u otro.

Igual que ocurre con el autoensamble que tiene lugar en los copos de nieve, el agua en la atmosfera se va auto ensamblando dando lugar a esas geometrías fractales que constituyen los copos de nieve. Y esta forma de ensamblarse se estudia para diseñar materiales que se auto reparen solos o que se ensamblen solos.

Bueno, la nanociencia siempre ha estado ahí, y los nanotecnólogos también, aunque ellos no lo sabían y se les llamaba artesanos o profesionales de una determinada área. Esto lo comento, porque otra forma de aproximarse a la nanociencia es a través de materiales a los que a lo largo de la historia se les han atribuido propiedades casi “mágicas” y que luego, se han estudiado y descubierto que esas propiedades se explicaban a través de la nanociencia. Por ejemplo, tres de los más famosos son:

La copa de Liturgio. En función de desde donde le incide la luz, se observa de un color u otro. Se descubrió que esta copa tenía nanopartículas de oro, concretamente de un tamaño de XXnm. Esto me sirve también para explicar los colores de las vidrieras de las iglesias.

Si preguntamos a cualquier persona qué es el oro (un anillo, unos pendientes, por ejemplo) nos dirá que es un metal duro pulido, que brilla, pero en realidad el oro en tamaño nanométrico, en función del tamaño puede ser de color rojo, verde, etc. Esto los artesanos no sabían que era nanotecnología, pero si que tenían, en base a la experiencia, muy controlado el proceso; cuánto machacar, cuanto calentar, el oro, para conseguir un color u otro.

Las famosas espadas de Damasco que eran las más famosas porque eran muy resistentes, no se podían doblar, ni romper, ni estropear y que al analizarlas muchos años después con microscopios electrónicos, contenían nanotubos de carbono, ya que el hollín con el que se fabricaba el acero, contenía esas estructuras que le dotaban de esa resistencia.

El grafeno estamos hablando que es 200 veces más fuerte que el acero, por ejemplo.

Esto se utiliza muchas veces como recurso, para introducir, pero se puede hacer un taller de vidrieras con papel de celofán y explicar esto. O un taller con pintura de efecto flip-flop que se usan en el mundo del tunning, para explicar cómo al cambiar el ángulo desde el que vemos un material pintado con esta pintura, vemos un color u otro.

O fabricar una espada. En el fondo se trata de actividades más de tipo “manualidad” pero que, con niños pequeños, nos sirven de estrategia para introducir este tipo de conceptos.

*Bien, ahora vamos a hablar de investigación y **aplicaciones**. Y para hablar de investigación tenemos que introducir conceptos de **microscopía**. No tiene que ser muy técnico, ya que requieren de mucho conocimiento previo, pero no tiene porque ser así.*

Para los más mayores, se pueden plantear actividades en las que se presentan imágenes resultado de utilizar diferentes tipos de microscopía para que elijan en forma de juego, a qué microscopio corresponden. Esto se puede utilizar como prueba para un reto inspirado en juegos escape, etc. Porque ya sabes que en función de las características de la muestra, se utiliza uno u otro (invasivo, no invasivo, imágenes a color, en b/n, etc.).

En todo caso, os he traído unos ejemplos para hablar concretamente de AFM y el STM

Microscopio de fuerzas atómicas y el **microscopio** de efecto túnel.

*El efecto túnel es un fenómeno cuántico, difícil de explicar a fondo, pero es sencillo comprender que si pudiésemos imaginar un **microscopio** en el que tenemos una punta muy muy fina, tanto que acaba en un átomo y que con esta punta, vas “barriendo” una muestra (superficies), de forma que cuando la punta encuentre un átomo, se produce una interacción (electromagnética) y se genera una corriente de electricidad que se procesa y se puede traducir en una señal que me permite dibujar un mapa topográfico de lo que estoy viendo, aunque en realidad no estoy viendo sino tocando. Por ello podemos pensar en plantear una dinámica muy sencilla en la que los participantes introducen la mano en una caja cerrada con diferentes objetos y ellos tienen que adivinar de qué objeto se trata, para explicar este concepto.*

Para niños más mayores, hemos cogido una estructura de cartón, hemos metido en el interior una figura geométrica básica (un prisma, por ejemplo), y hemos hecho unos agujeros en la parte superior de forma que al introducir palitos de madera hasta que hagan tope con la superficie, y después marcando con un rotulador, hasta donde ha penetrado el palito, podemos dibujar un perfil topográfico del objeto en el interior. Como requiere un mayor control a nivel sicomotriz, se puede hacer con niños a partir de 8 años.

*Para comprender la complejidad que implica el manipular la materia a esta escala, se pueden hacer juegos en los que podemos utilizar un juego como este de solitario con bolas e intentar manipularlas con una mano con una manopla con la que cojo unas pinzas de cocina, para hacernos una idea de lo complicado que es manipular la materia a escala nano, **ya que sería como si intentase mover un balón de fútbol con la punta de la Torre Eiffel.***

*Y sobre todo explicar la base, porque no puedo utilizar un **microscopio** óptico, bueno es que la luz es más grande que lo que quiero ver, entonces ya no me sirve, tengo que utilizar algo más pequeño, como son los electrones y por ello necesito **microscopios** electrónicos.*

El AFM se puede usar para muestras sólidas, líquidas, blandas, más compuestos biológicos, compuestos cristalinos..

El de efecto túnel requiere unas condiciones más complicadas: ultravacío, para que no se contamine la muestra, pero también bajas temperaturas para que haya un poco de control térmico. Todo esto en función de la audiencia, se puede profundizar más o menos.

Por último, antes de pasar a **ejemplos** más prácticos y materiales sorprendentes, tenemos que hablar de las aplicaciones, no solo porque la **nanociencia** esté presente en nuestra vida cotidiana, sino como una forma de **fomentar vocaciones**; mira todo lo que puedes hacer si te dedicas a investigar en este campo. Aquí hay **ejemplos** que siempre tienen más éxito. Por **ejemplo**, todo lo que está relacionado con salud, para público adulto, interesa mucho, o con videojuegos o medio ambiente, para más juvenil o incluso con. Además, aquí en el INMA hay muchas líneas de investigación en este campo y poder explicar en primera persona; mira en tu ciudad, en este centro, hay personas que están trabajando en estos retos tan apasionantes.

- Hacer una liberación controlada de fármacos que permita minimizar los efectos secundarios de otros tratamientos más invasivos. Diagnóstico, también.
- O desarrollando una nariz electrónica que nos permita detectar drogas en aeropuertos.
- Diversas aplicaciones en medio ambiente, filtros para agua,
- Cosmética, que luego veremos con ejemplos en el maletín Nanomartes: cremas de pañal, cremas solares, todos estos cosméticos que incorporan nanotecnología y que utilizamos comúnmente. (dióxido de titanio, óxido de zinc, ya no nos quedamos blancos, cuando nos aplicamos crema).
- Química, farmacia, construcción, seguridad con materiales termocrómicos que cambian de color con la temperatura...
- Equipos deportivos, materiales hidrofóbicos para deportes acuáticos, y raquetas, cuadros de bicis, materiales que tienen que ser muy ligeros, pero también muy resistentes.

Siempre buscar la aplicación final relacionada con cosas cotidianas.

Materiales sorprendentes.

Este apartado lo he llamado así porque al final es como un conjunto de ideas, un cajón desastre de ideas de cosas que se pueden hacer y que van a depender de la acción divulgativa en concreto que queramos realizar.

Siempre que tengáis que diseñar cualquier acción divulgativa, tenéis que haceros tres preguntas:

¿Para quién? Niños de 5 años o para expertos de un instituto, para familias o para mi abuela

¿Dónde? Esto nos delimitará el formato a utilizar: taller (mesas y sillas), materiales, Escapes: infraestructuras, toma de agua...Cosas que forman parte de lo que es la gestión de un evento, más que de las bases de la divulgación científica, pero que son cruciales a la hora de diseñar una actividad, porque de ellas depende finalmente el éxito o el fracaso, de la acción.

¿Cuándo? En que contexto o evento. Idea: Vincular con efemérides

Formatos:

Exposición: Nanorevolution, Nanociencia, un mundo a otra escala, matheroes (ICMAB)

ADN: propiedades

Superpoderes: aplicaciones

Ejemplos: Fotoenergía, Magnon, etc..

Es otra forma de aproximarse. Era una exposición, pero se ha convertido en otros productos como escapes, comics, etc.

Hablando de juegos de inspiración escape.

El Rescate del titán que es del INMA. Storytelling, creatividad, adaptación de materiales, cómo se juega, etc.

Es una estructura móvil y portátil se generan tres espacios: laboratorio, despacho y búnquer (en el que se esconde el titán).

Fotografías micro-macro que hemos explicado antes como una prueba en la que relacionas

Escape hall: retos por equipos

Escape box: cada equipo tiene una caja y dentro de la misma está todo el material necesario para resolver el reto.

Para diferentes edades y contenidos, con diferentes objetivos:

Futurenano: para explicar el método científico y la indagación basada en la evidencia utilizando contenido nano. Lo que tienen es que fabricar un prototipo basado en fundamentos científicos de nanociencia, cada equipo recibe un reto y luego los tienen que presentar al resto. Cada equipo tiene su material en su caja.

Para infantil: maletas Nanoelia y también un cuento “El mundo secreto de Nanoelia”.

Formatos más clásicos: eventos: ejemplo: un stand en la noche de los investigadores. Nosotros hacemos también formación para investigadores sobre herramientas de comunicación científica.

Ferias de ciencia, jornadas de puertas abiertas, el Día de la Nanociencia 10/09

Productos digitales que han crecido en la pandemia. Algunos de estos ejemplos que os he contado, tienen su versión online, en los que yo puedo jugar desde casa, pero también son un recurso para profesores para utilizarlo en el aula o para vosotros, investigadores para utilizarlo en eventos de divulgación. Competir con otros coles, hacer un ranking. Esto lo vínculo con metodologías como las que hablaremos luego, como la gamificación. “

Anexo 4. Cuestionarios docentes sobre proyecto Nanomartes

1. ¿Cuántos escolares han participado en la experiencia didáctica nanomartes?
2. ¿A qué niveles pertenecen?
3. ¿Qué resultados habéis obtenido al trabajar con el maletín nanomartes?
4. Enlace a la reseña del trabajo con el maletín nanomartes en la página web, redes sociales del centro o similar.
5. ¿Habéis diseñado alguna actividad específica para trabajar el tema de la nanociencia con el maletín? ¿Habéis hecho algún trabajo o presentación?
6. ¿Cuál ha sido vuestra experiencia al trabajar con el maletín nanomartes?
7. Adjunta un listado de roturas, pérdidas o material agotado.
8. ¿Cómo evaluaría la adecuación del material incluido en el maletín para realizar las actividades diseñadas en la unidad didáctica?

- Poco adecuado
- Adecuado
- Muy adecuado

¿Por qué?

9. ¿Realizaría alguna sugerencia para mejorar o cambiar la experiencia?
10. Señale qué experimento, de todos los ofrecidos en el maletín, ha gustado más a los alumnos:
 - Experiencia 1. Cinta nanométrica
 - Experiencia 2. Silly Putty (plastilina) magnética
 - Experiencia 3. Film anti-espía
 - Experiencia 4. Nanocrema solar
 - Experiencia 5. Efecto flip flop.
 - Experiencia 6. Lámina termocrómica
 - Experiencia 7. Taza Termocrómica

- Experiencia 8. Body Termocrómico
- Experiencia 9. Observar efecto Lotus
- Experiencia 10. Producto anti-vaho
- Experiencia 11. Ángulo de humectancia: Trozo de tela hidrofóbica
- Experiencia 12. Arena mágica
- Experiencia 13. Nitinol
- Experiencia 14. Materiales cotidianos con memoria de forma
- Experiencia 15. Circuito eléctrico con grafito

¿Y el que menos? ¿Por qué?

11. Con la ayuda de este proyecto, ¿en qué grado cree que los alumnos han entendido qué es la nanotecnología y para qué se aplica?

- Han entendido poco o nada
- Algunos conceptos
- Lo han entendido todo

12. ¿De qué forma esta experiencia ha afectado a los conocimientos que los alumnos tienen sobre la nanociencia, y la ciencia en general? Puede señalar una o varias opciones:

- Han conocido una nueva disciplina científica que desconocían
- Ha servido para afianzar conocimientos sobre otras áreas científicas
- Ha permitido potenciar sus destrezas prácticas y su visión de la lógica científica
- Ha ayudado a entender la aplicación del método científico

13. ¿Recomendaría esta experiencia?

- Sí
- No

14. ¿Su uso ha aumentado la motivación de los alumnos para dedicarse en un futuro a alguna disciplina científica?

- En poca o ninguna medida
- En algún caso

En muchos casos



PRECAUCIONES GENERALES DE SEGURIDAD

1. Lea la descripción de los experimentos detenidamente antes de realizar las experiencias en el aula.
2. Si desea que los alumnos realicen de forma práctica los experimentos, asegúrese de supervisarlos en todo momento para que hagan un uso adecuado del material y de los reactivos.
3. El maletín no debe almacenarse a temperaturas superiores a los 20° y es aconsejable protegerlo de la humedad y el fuego.
4. Para la utilización de los reactivos se aconseja la utilización de guantes de látex, bata de laboratorio y gafas de seguridad.
5. En las experiencias que implican la utilización de fuentes de calor, se aconseja la utilización de manoplas térmicas, bata de laboratorio y gafas de seguridad. Además se recomienda contar con un pequeño botiquín para poder tratar posibles accidentes por quemaduras.
6. Realice un uso racional de los materiales teniendo en consideración las peculiaridades del proyecto.

PREFACIO	5
INTRODUCCIÓN	7
¿Qué es la nanotecnología?	
CAPÍTULO 1: LA NANOESCALA	8
Experiencia 1: Cinta nanométrica	9
CAPÍTULO 2: MATERIALES SORPRENDENTES	10
Experiencia 2: Silly Putty (Plastilina) magnética	12
CAPÍTULO 3: FUNCIONALIDAD A TRAVÉS DE LA NANOTECNOLOGÍA	14
Experiencia 3: Film anti-espía	15
Experiencia 4: Nanocrema solar	17
Experiencia 5: Óxido de titanio	19
Experiencia 6: Lámina termocrómica	21
Experiencia 7: Taza termocrómica	22
Experiencia 8: Body termocrómico	23
CAPÍTULO 4: EFECTO LOTUS	24
Experiencia 9: Experimento para observar el "Efecto Lotus"	26
Experiencia 10: Producto anti-vaho	27
Experiencia 11: Ángulo de humectancia	28
Experiencia 12: Arena mágica	30
CAPÍTULO 5: MEMORIA DE FORMA	32
Experiencia 13: Nitinol	33
Experiencia 14: Materiales cotidianos con memoria de forma	36
CAPÍTULO 6: CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	38
Experiencia 15: Circuito eléctrico con grafito	40





Esta guía de experimentos sobre Nanociencia ha sido preparada por el Instituto de Nanociencia e Aragón (de aquí en adelante INA). Este centro perteneciente a la Universidad de Zaragoza, se dedica desde su constitución en 2003 a realizar labores de I+D+i en el campo de la Nanociencia. Gracias al personal investigador y técnico altamente especializado y a sus instalaciones de vanguardia, es ya un centro de referencia en Europa en el campo de la nanociencia.

Desde su constitución, el INA ha llevado a cabo multitud de acciones para la difusión de la nanociencia entre diferentes públicos y en diferentes contextos.

Con el objetivo de seguir trabajando en la difusión de esta rama emergente de la ciencia, surge el proyecto "Los nanomartes" que a continuación pasamos a describir. En este proyecto se ha seleccionado un día semanal para dedicar a la profundización en la Nanociencia y sus aplicaciones. El docente realizará las actividades en el aula en coordinación con el resto del profesorado de su departamento y para ello utilizará esta guía y el material contenido en el maletín. Una vez finalizada la acción en un centro y a través de la coordinación del programa Ciencia Viva, los maletines itinerarán de un centro a otro.

El maletín consiste en una herramienta que contiene el material necesario para la realización de una serie de experiencias relacionadas con la nanociencia y sus aplicaciones, orientadas principalmente a alumnos de ESO y Bachillerato.

En esta guía didáctica encontrará la información necesaria para el correcto desarrollo de las experiencias, así como información adicional para la introducción de la actividad y la profundización en los aspectos teóricos. Algunas de las actividades propuestas requieren de materiales adicionales sencillos de conseguir que deberá preparar el docente para su realización en el aula, si lo considera oportuno.

Es recomendable, por tanto, la lectura previa de esta guía por parte del docente para que este pueda realizar una previsión para la organización de la clase de los medios necesarios, así como supervisar que el material del maletín se encuentra en buen estado.

El maletín está diseñado para que las actividades puedan realizarse de forma sencilla en el aula y para un número determinado de usos. En caso de deterioro de algún material póngase en contacto con el INA para la reposición del mismo así como si alguno de los materiales fungibles se termina antes de finalizar las sesiones programadas.



¿QUÉ ES LA NANOTECNOLOGÍA?

Si consultamos en algún libro o enciclopedia de Ciencia, es probable que encontremos una definición como esta: La nanociencia y la nanotecnología son los campos de la ciencia y la técnica que se dedican a estudiar, diseñar, obtener y/o manipular de manera controlada materiales, sustancias y dispositivos de dimensiones inferiores al micrómetro (10^{-6}m) y próximas al nanómetro (10^{-9}m). (Un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro y la mil millonésima parte de un metro).

¿Qué significa?

Lo primero que debemos recordar es que la materia está formada por átomos. Los átomos son partículas minúsculas. Incluso en un objeto muy pequeño, que apenas podemos ver a simple vista, hay muchísimos miles de millones de átomos.

Para formar los objetos grandes, estas enormes cantidades de átomos se unen unos con otros formando estructuras. Las distancias entre esos átomos son de un tamaño en torno al nanómetro, o sea, como hemos dicho antes, la millonésima parte de un milímetro.

Lo interesante es que los materiales tienen las propiedades que tienen (que sean duros o blandos, flexibles o rígidos, que se comporten

como imanes, o como conductores eléctricos, o como aislantes de calor...) por la forma en que los átomos se unen unos con otros en la escala nanométrica.

Esto es algo que los científicos ya sabían. Lo que no habían podido hacer hasta hace poco es controlar esa estructura en la nanoescala: no había forma de ver tamaños tan pequeños, ni de cambiar a voluntad la forma en que los átomos se unían.

Desde hace un tiempo, ya existen esas herramientas: y a partir de ahí, ya se puede hacer nanociencia.

Las aplicaciones de la nanociencia se basan en que, a escala nanométrica, los materiales tienen distintas propiedades que a macroescala, es decir, que al trabajar sólo con unos pocos átomos o moléculas de un compuesto, su comportamiento puede ser totalmente diferente al que presenta cuando tenemos cantidades mayores.

Esto abre un gran campo de investigación en el que se pueden desarrollar productos que respondan a las necesidades de la sociedad actual, lo que hace que algunos consideren este reto como la próxima revolución industrial.

CAPÍTULO 1: LA NANOESCALA**A LA LUZ DE NUESTROS OJOS**

En nuestra vida cotidiana estamos acostumbrados a medir longitudes, ya sean tamaños de objetos, distancias, nuestra propia altura... Para ello utilizamos unidades a las que estamos acostumbrados como los metros o kilómetros, pero... ¿qué ocurriría si en lugar de medir en metros o centímetros utilizásemos una unidad de medida mucho más pequeña?

A LA LUZ DE LA NANOESCALA

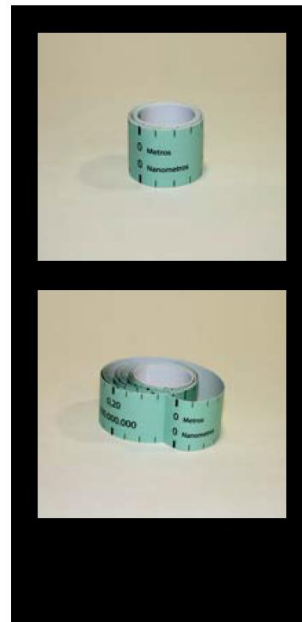
La nanociencia es el estudio de los sistemas cuyo tamaño es de unos pocos nanómetros. Un nanómetro (nm) es 10^{-9} metros.

1 nanómetro = 0,000000001m.

Es decir, un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro o la millonésima parte de un milímetro.

Para que nos hagamos una idea, un leucocito o glóbulo blanco (una célula de nuestro cuerpo que no puede verse sin ayuda del microscopio) tiene un diámetro de aproximadamente 100.000nm.

La nanociencia trata de comprender qué ocurre a esta escala diminuta y la nanotecnología trabaja para manipular y controlar la materia a esta escala.

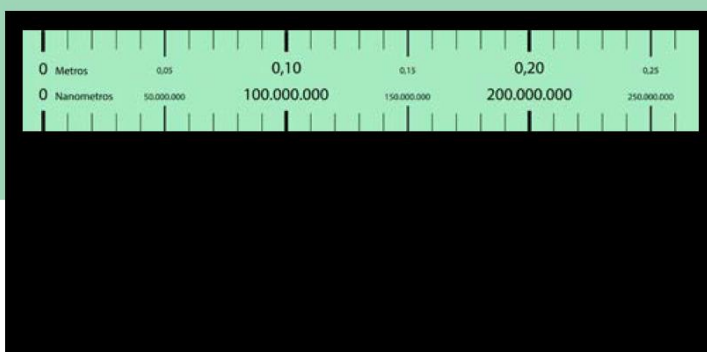


Experiencia 1

CINTA NANOMÉTRICA

Divulgando: El nanómetro es una unidad muchísimo más pequeña que las que estamos acostumbrados a manejar habitualmente, por eso si nos transportamos a la "nanodimensión", las cosas que nos rodean son gigantes. Lo podemos comprobar utilizando esta cinta nanométrica. ¿Cuántos nanómetros creéis que medirá un bolígrafo?

Protocolo: Esta actividad consiste en medir diferentes objetos cotidianos con ayuda de la cinta nanométrica para comprender la escala en la que nos movemos cuando hablamos de nanociencia y ser conscientes de lo pequeño que es el nanómetro. Se puede aprovechar la actividad para repasar las potencias en base diez y la transformación de unidades del sistema métrico.



Material:

- Cinta nanométrica

Proporcionado por el profesor:

- Diferentes objetos cotidianos (bolígrafo, goma, mesa, pizarra...)

9

CAPÍTULO 2: MATERIALES SORPRENDENTES

A LA LUZ DE NUESTROS OJOS

Esta plastilina magnética se inventó de forma accidental durante la Segunda Guerra Mundial, intentando buscar un sustituto para el caucho. Fue creada a partir de una mezcla de ácido bórico y aceite de silicona. En la actualidad se utiliza principalmente como juguete con el nombre comercial de Silly Putty. Este material presenta unas propiedades físicas muy curiosas porque está a medio camino entre un sólido y un líquido. Es un "sólido que fluye". Resulta que su viscosidad depende de forma no lineal de la fuerza que se le aplique (incluida la atracción gravitatoria). Es menos viscoso (fluye mejor) al aplicarle fuerza de pequeña intensidad, pero ante fuerzas más violentas, se comporta casi como un sólido y es mucho más difícil atravesarlo. Las propiedades químicas de Silly Putty le dan sus características físicas distintivas, incluyendo rebote, estiramiento y fluidez.

10

A LA LUZ DE LA NANOESCALA

• Silicio y silicona

EL nombre "silly" se le dio por su ingrediente principal; la silicona. La silicona está compuesta de átomos de silicio enlazados con átomos de oxígeno, que se unen formando largas cadenas de átomos, lo que se conoce como polímero. Las propiedades físicas de los compuestos de silicona no son las mismas que las de otras sustancias que contienen combinaciones de silicio y oxígeno, como la arena de playa o el cuarzo: la estructura química (la forma específica en que los átomos se ordenan) es responsable de las diferentes propiedades.

Los compuestos de silicona se llaman siloxanos, o polisiloxanos.

• Dimetilsiloxano

La plastilina Silly Putty está compuesta al 65% de dimetilsiloxano, un tipo de polímero que, como hemos dicho, pertenece al grupo de las siliconas. Se trata de un



material viscoelástico, y sus enlaces covalentes flexibles le confieren sus cualidades de fluidez y elasticidad, semejantes a las de la plastilina. Las uniones cruzadas entre las múltiples cadenas de polímeros permiten que la Silly Putty fluya lentamente como un líquido a pesar de ser un material de plástico sólido.

• **Ácido bórico**

El boro y el silicio son elementos afines, por lo que el ácido bórico actúa entrelazando las cadenas de polímeros dando lugar a una rejilla compacta que le confiere al material esa consistencia y flexibilidad tan curiosa.

• **Magnetismo**

En nuestro caso, la plastilina está además mezclada con polvo de hierro, de forma que la Silly Putty se convierte en una plastilina con propiedades magnéticas.



11

Experiencia 2

SILLY PUTTY (PLASTILINA) MAGNÉTICA

Divulgando: La plastilina de por sí es ya un material peculiar, con unas propiedades que no encontramos a diario en la naturaleza. Es por eso que nos fascina y cuando cae en nuestras manos, no podemos parar de jugar. Pues bien, la plastilina "Silly Putty" tiene unas propiedades muchísimo más asombrosas; mientras que al tacto y en apariencia se parece a la plastilina corriente, la manera de absorber los golpes, su fluidez y su comportamiento magnético, no tienen nada que ver.

Protocolo Fagocitosis: Amasamos la "Silly Putty" brevemente hasta que formemos una bola déformable y la dejamos descansar sobre una superficie plana como puede ser una mesa.

Cogemos con mucho cuidado el imán de neodimio y lo colocamos levemente en contacto

con la masilla, y esperamos 5 minutos. Enseguida observamos que la plastilina comienza a fagocitar poco a poco al imán.

Protocolo imantación: Esparcimos sobre la mesa varios clips y grapas. Ahora acercamos la "Silly Putty" para comprobar su capacidad magnética, como vemos no ocurre absolutamente nada. Pues bien, ahora colocaremos el imán en contacto con un lateral de la plastilina (en esta ocasión el tiempo de contacto será más breve para evitar que se produzca la fagocitosis), y después separamos el imán y acercamos la zona imantada de la "Silly Putty" a los clips y grapas. Esta actividad requiere un poco de pericia, por lo que recomendamos que se hagan pruebas para pulir la técnica antes de llevarlo a cabo delante de los alumnos.

Protocolo "botar": Esta es una de las pro-

iedades más asombrosas de esta plastilina tan especial. Es todavía más sorprendente si tenemos en cuenta que su comportamiento concencional, al igual que en la plastilina común, parece consistir en absorber golpes mecánicos leves (esto podemos observarlo cuando presionamos con un dedo y la "Silly Putty" se deforma).

Para comparar ambos materiales podemos coger un trozo de plastilina y manipularla a la vez que la "Silly Putty". Finalmente, hacemos dos bolas con ambas gomas; primero lanzamos la de la plastilina contra el suelo y vemos su comportamiento: casi no rebotará. Ahora llega el momento de lanzar la "Silly Putty" contra el suelo, que sorprendentemente rebota.

OBSERVACIONES: Si no hacemos una espe-

12

ra con la "Silly Putty", esta no botará. Por otro lado, cuanto menos irregular sea la esfera más controlados serán los botes. Se debe tener cuidado con el primer lanzamiento porque realmente bota mucho.

Protocolo serpiente: Esta experiencia requiere cierta destreza y sobre todo una preparación previa para que se pueda llevar a cabo con éxito el día de la demostración.

La experiencia consiste en moldear la "Silly Putty" hasta conseguir tener una zona con forma de churro, de grosor aproximado de un lápiz. Después, acercamos el imán a la punta del churro, sin que entren en contacto, hasta que la punta sea atraída por el imán; luego movemos este, y el churro seguirá el movimiento del imán. Por momentos puede parecer la cabeza de una serpiente hechizada.

La preparación previa sirve para ajustar el grosor del churro, pues si este es muy grueso, el imán no tendrá la fuerza suficiente como para conseguir arrastrarlo. Hemos comprobado que funciona mejor si la punta del churro está chafada con los dedos hasta que quede del grosor de un folio (solo la punta). Otro aspecto muy importante, que solo se adquiere con práctica, es controlar la distancia a la que hay que colocar el imán de la punta de la plastilina, pues si la colocamos muy cerca la punta se pegará al imán y si la ponemos lejos este no se verá atraído por el imán. Solo a la distancia adecuada se produce el espectacular efecto de mover la serpiente a la vez que se mueve el imán.

PRECAUCIÓN: el imán de neodimio es muy potente, por lo que hay que manipularlo con

precaución. Cuando el imán de neodimio atrae metales u otros imanes, lo hace con gran fuerza, de manera que si atrapa entre los dos objetos un dedo o la piel, puede producir golpes o pellizcos muy dolorosos. Además, al recibir impactos (por caídas o atracción de materiales masivos) se quiebra con facilidad. Debe manejarse siempre con mucha precaución.

Material:

- Plastilina (Silly Putty)
- Imán de neodimio
- Clips y grapas

Proporcionado por el profesor:

- Plastilina convencional

13

CAPÍTULO 3: FUNCIONALIDAD A TRAVÉS DE LA NANOTECNOLOGÍA

FILM ANTI-ESPÍA

A LA LUZ DE NUESTROS OJOS

El filtro de privacidad para móviles (también existen para portátiles y monitores LCD), consiste en una lámina de plástico ligeramente oscurecida, que únicamente se muestra transparente (más bien translucido) cuando se mira totalmente de frente.

En cuanto se empieza a observar la pantalla desde un lateral, esta se va oscureciendo gradualmente. Cuando se alcanza o sobrepasa un ángulo lateral máximo de 30°, la lámina se vuelve totalmente oscura.

Al colocar este filtro, únicamente el usuario que utiliza el móvil puede ver claramente lo que hay en ella.

A LA LUZ DE LA NANOESCALA

Este material nos asegura protección y privacidad utilizando nanotecnología de microrejilla. Evita que la información personal quede expuesta a terceros mediante el ajuste del ángulo de visión. Lo que

hace es cerrar los ángulos de visión de las pantallas, que normalmente están muy abiertos para poder ver la pantalla desde cualquier situación lateral. Ese ángulo se cierra de forma que se deja abierto únicamente para que la pantalla sea visualizada por la persona que está delante, en perpendicular a la pantalla.



14

Experiencia 3

FILM ANTI-ESPÍA

Divulgando: Ahora ya podemos mantener en privado nuestras navegaciones por la red con este film protector anti-espía.

Protocolo: Un compañero coloca el film delante de la pantalla del móvil o de una pantalla de ordenador y se coloca justo enfrente. Otros dos compañeros se sitúan en ambos lados

derecho e izquierdo e intentan adivinar qué está viendo el primer compañero. Para finalizar, la persona que porta el móvil cambia la posición con sus compañeros.

A continuación se repite la experiencia pero colocando el film en perpendicular con respecto a la pantalla. En esta posición ningún

observador será capaz de ver el contenido de la pantalla.

Material:

- Film antiespía

Proporcionado por el profesor:

- Teléfono móvil o pantalla de ordenador



15

ÓXIDO DE ZINC

A LA LUZ DE NUESTROS OJOS

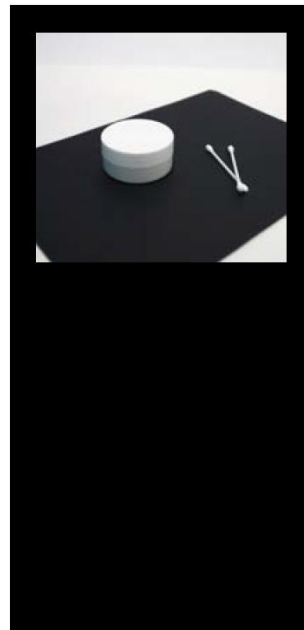
Tenemos el concepto interiorizado de que las cremas solares se absorben en la piel y que sin embargo las pomadas tienen que permanecer sobre ella para que curen. Pero lo cierto es que para que una crema haga su papel protector tiene que permanecer sobre la superficie de la piel. ¿Entonces porque es visible el rastro blanco de una pomada y sin embargo no vemos el de las cremas solares?

A LA LUZ DE LA NANOESCALA

La crema solar contiene nanopartículas de óxido de zinc. Las nanopartículas son tan pequeñas que ellas no pueden reflejar la luz visible, lo que provoca que la crema solar sea transparente a nuestros ojos. La pomada también contiene ZnO, pero las partículas son mucho mayores, y estas no son permeables a la luz visible, reflejándola, y creando una capa blanquecina sobre la piel.

La crema solar es un ejemplo muy común de la nanotecnología. Muchos otros productos de belleza y salud también contienen nanopartículas, incluyendo cosméticos y pastas de dientes.

La nanotecnología aprovecha las propiedades ventajosas que proporcionan los materiales a escala nanométrica para fabricar nuevos productos y aplicaciones. Las nanopartículas de la crema solar son invisibles al ojo humano: son tan pequeñas que solo reflejan la radiación solar en una longitud de onda menor que la que nuestro ojo humano puede detectar.



16

Experiencia 4

NANOCREMA SOLAR

Divulgando: La industria de los cosméticos siempre ha sido muy potente e innovadora, por lo que no ha tardado en buscar aplicaciones a la emergente nanotecnología. Ahora vamos a ver un ejemplo muy sencillo de cómo dos componentes similares tienen propiedades distintas debido al tamaño de las partículas que los componen.

Protocolo: Con un palillo de algodón extendemos una pequeña cantidad de crema sobre la cartulina negra, e intentamos que esta desaparezca frotándola.

Con el otro extremo del palillo realizamos el mismo procedimiento pero con la crema con nanopartículas, e intentando coger la misma cantidad.

Observamos que en el caso de la crema con nanopartículas la mancha se queda transparente a diferencia de la otra crema con la que observamos una mancha de color blanco.

Material:

- 1 cartulina negra
- 1 palillo de algodón
- Crema óxido de zinc
- Crema óxido de zinc (nano)



17

ÓXIDO DE TITANIO

A LA LUZ DE NUESTROS OJOS

El dióxido de titanio es un mineral semiconductor sensible a la luz que absorbe radiación electromagnética cerca de la región del UV. Es resistente a la luz y tiene un alto índice de refracción. Químicamente es muy estable y extremadamente inerte, además es bastante económico y no es tóxico. Todo ello hace que se trate del pigmento blanco más importante en la industria. Se puede encontrar también como aditivo alimenticio bajo el código de E-171, en pastas de dientes o en caramelos para la tos. Su principal aplicación es la fabricación de pigmentos que se utilizan en diversos sectores que van desde la aplicación en materiales cerámicos hasta la industria automovilística.

A LA LUZ DE LA NANOESCALA

El dióxido de titanio se encuentra en la naturaleza en forma de mineral y puede presentarse en tres formas cristalinas: "anatasa" (estructura tetragonal), "rutilo" (estructura octahédrica) y "brookita" (es-

tructura ortorómbica). La forma más común es el "rutilo", las fases metaestables de "anatasa" y "brookita", se convierten a rutilo por acción del calor.

Una curiosa aplicación del óxido de titanio es la fabricación de pinturas que cambian de color en función del ángulo de observación. Esta propiedad se conoce como "efecto flip-flop" y se debe al tamaño nanométrico de las partículas de dióxido de titanio utilizadas, en cantidades determinadas. En esta escala los átomos se agrupan formando cristales de 3-5nm capaces de dispersar la luz creando estas composiciones de color.

En el caso de pigmentos blancos, las partículas de óxido de titanio utilizadas son cientos de veces más grandes y por lo tanto, ya no presentan este efecto.

Las pinturas con efecto flip-flop además de cambiar el color también protegen frente a la decoloración que provoca la exposición a la luz natural o artificial.



18

Experiencia 5

EFEECTO FLIP-FLOP

Divulgando: En el siguiente experimento nos vamos a fijar en una propiedad muy curiosa del dióxido de titanio a escala nanométrica, que tienen aplicaciones en el mundo del automóvil para la pintura de carrocerías. Se trata de una superficie pintada con una pintura con "efecto camaleón" o "efecto flip-flop", es decir, que cambia de color en función del ángulo desde el que la observemos. Este efecto se explica por el tamaño nanométrico de las partículas de óxido de titanio con las que está fabricada la pintura. Los nanocristales de óxido de titanio son capaces de dispersar la luz creando estos juegos de color.

Protocolo: Cogemos la semiesfera y la visualizamos al lado de la ventana desde diferentes ángulos para observar los cambios de color.

Divulgando: Un ejemplo cotidiano de una aplicación del óxido de titanio en tamaño nanométrico, lo encontramos en los billetes de 50 euros. El número "50" se encuentra impreso con este tipo de tinta de forma que podemos observar como cambia de color en función del ángulo desde el que lo observemos. En este caso, este efecto es utilizado para la detección de billetes falsos así como para aumentar la complejidad de los procesos de falsificación.

Protocolo: Al igual que en el caso anterior visualizaremos el billete, concretamente el número "50", desde diferentes ángulos para observar el cambio de color.

Material:

- Superficie efecto flip-flop

Proporcionado por el profesor:

- Billeto de 50€

19

MATERIALES TERMOCRÓMICOS

A LA LUZ DE NUESTROS OJOS

Hoy en día podemos encontrar en el mercado objetos que modifican su color al producirse cambios en su temperatura. Este fenómeno puede tener muchas aplicaciones en la industria, pero el más obvio parece estar en la rama de la seguridad, ya que un cambio de color nos puede avisar de lo caliente que puede estar un determinado material.

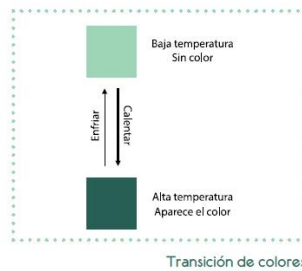
En esta fotografía tenemos una taza que, utilizando esta tecnología, nos avisa de si el contenido de la taza está caliente o frío, es decir, de si la podemos coger con las manos o si por el contrario hay que tener cuidado.

Otra industria que le está sacando partido a esta propiedad, es la de ropa para bebés. Confeccionan prendas en los que los dibujos están serigrafiados utilizando estos pigmentos, de modo que si el bebé aumenta de temperatura por encima de 38°C, los dibujos desaparecen avisando así de que el pequeño tiene fiebre.

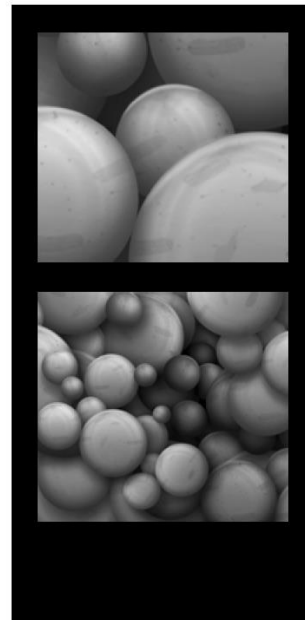
20

A LA LUZ DE LA NANOESCALA

Estos materiales se componen de moléculas orgánicas dispersas en películas delgadas de vidrio. Las moléculas cambian su estructura al cambiar la temperatura.



Son pigmentos compuestos por nanocápsulas en los que el color cambia de una manera reversible o irreversible. Se selecciona un tipo u otro de cambio dependiendo de la aplicación final deseada. El cambio de color es producido por los cambios en la temperatura.



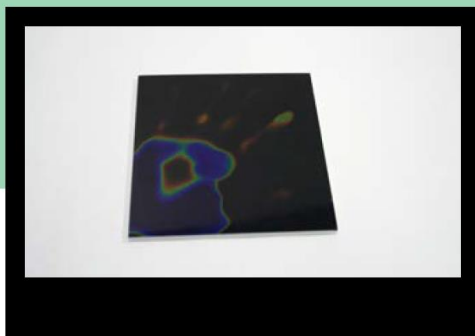
Experiencia 6

LÁMINA TERMOCRÓMICA

Divulgando: Ahora veremos cambios en el color dependiendo de la temperatura. Esta demostración es sencilla de entender ya que tenemos interiorizado el concepto de energía en forma de calor, que esta se puede transmitir y por lo tanto que esta energía provoque finalmente un cambio en la nanoestructura de los compuestos que forman los pigmentos.

Protocolo: Para que la lámina cambie de color tiene que alcanzar 37°C. Si colocamos la mano encima a temperatura corporal la silueta de la misma queda marcada en el papel en otro color. El proceso es reversible por lo que al volver a temperatura ambiente la lámina volverá a su color inicial.

Si solamente con poner la mano encima no es suficiente, podemos frotarnos las manos para aumentar la temperatura en la superficie de estas o utilizar el secador y aplicar calor directamente sobre la lámina.



Material:

- Lámina termocrómica
- Secador (opcional)

21

Experiencia 7

TAZA TERMOCRÓMICA

Divulgando: A continuación vamos a observar el mismo efecto pero aplicado a otro material diferente, como puede ser una cerámica como la de esta taza. En este caso la imagen aparece cuando se supera la temperatura de 40°C. Esto es debido a que la imagen está impresa con una tinta tratada que modifica su color con la temperatura ya que sus partículas modifican su estructura al modificar este parámetro.

Protocolo: Calentar agua en un recipiente externo (jarra, vaso de precipitados...) con ayuda de un microondas o una placa calefactora. Cuando el agua esté suficientemente caliente, verterla sobre la taza y observar lo que ocurre.

PRECAUCIONES: si los estudiantes van a encargarse de calentar el agua facilitarles guantes protectores para evitar quemaduras. Su-

pervisar en todo caso este proceso.

OBSERVACIONES: No es aconsejable calentar la taza directamente en el microondas.



Material:

- Taza termocrómica

Proporcionado por el profesor:

- Agua caliente

22

Experiencia 8

BODY TERMOCRÓMICO

Divulgando: Para finalizar vamos a ver una aplicación práctica de este tipo de materiales, concretamente vamos a utilizar una prenda de bebe, cuyo estampado está elaborado con una tinta termocrómica, de forma que desaparece cuando está a temperatura superior a 37°C, indicándonos que el bebe tiene fiebre.

Protocolo: Con ayuda del secador, aplicamos calor sobre la prenda y observamos lo que ocurre.

Material:

- Body termocrómico
- Secador



23

CAPÍTULO 4: EFECTO LOTUS

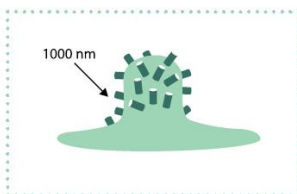
A LA LUZ DE NUESTROS OJOS

Durante muchos años investigadores de todo el mundo buscaron el modo de crear superficies que repelieran tanto la suciedad como el agua. Tras muchos años de investigación, y como ocurre a menudo, fue la Naturaleza la que nos proporcionó la respuesta, a través del estudio de una serie de plantas que habían solucionado ese problema. La flor del loto (Lotus) le da nombre a este efecto y es en sus hojas donde mejor podemos apreciarlo.

La evolución ha dotado a estas plantas de la capacidad de repeler el agua para evitar los daños que la exposición continua a esta puede ejercer sobre sus hojas; a la vez, también las protege de la suciedad (esporas, algas, polvo, etc...) ya que cuando las gotas de agua recorren la superficie de las hojas del loto, recogen todas las partículas, que no están adheridas a las hojas debido a dicho efecto. Lo que ocurre es que las partículas contaminantes tienen poca afinidad por la superficie de las hojas. Lo mismo le ocurre al agua y por eso las gotas recorren la superficie

sin mojarlas. Por el contrario, estas partículas de suciedad tienen mayor afinidad por el agua, por lo que cuando esta pasa por los alrededores de dichas partículas, se adhieren a la gota dejando limpia la superficie de la hoja.

A LA LUZ DE LA NANOESCALA



Protuberancias superficie hoja flor de loto

Es común pensar que las superficies totalmente lisas son más fáciles de limpiar que las rugosas, ya que en las primeras nos parece que la suciedad no se incrusta. Pero si pudiéramos ver la superficie de las hojas de la flor del loto a la luz de un

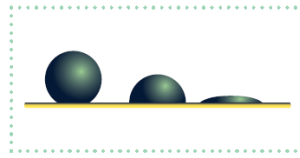


24

microscopio electrónico, veríamos una superficie totalmente rugosa, y es debido a esta nanoestructura rugosa de la superficie de las hojas por lo que se produce el efecto de extrema hidrofobicidad.

La repulsión de un material al agua está fundamentada en la nanoestructura de su superficie. La nanoestructura de las hojas de la flor del loto modifica las interacciones (tensión superficial) entre las moléculas de agua con las de la hoja y las de la hoja con el aire. Y esto a su vez determina el ángulo de contacto entre la gota de agua y la hoja, conocido como ángulo de humectancia.

Según la definición física, una superficie es hidrofílica cuando el ángulo de contacto entre una gota de agua y la superficie es inferior a 90° . En este caso, el líquido moja al sólido ya que la superficie de contacto entre la gotita de agua y el sólido se reduce considerablemente. Por el contrario, una superficie es hidrófoba cuando el ángulo de contacto es superior a 90° ; de esa manera, se puede decir que la gota no moja el sólido.



Gotas sobre superficie

Consideremos un líquido que ha caído sobre una superficie sólida. Si el líquido es atraído fuertemente por la superficie (por ejemplo agua sobre un sólido hidrófilo) la gota se extenderá completamente por el sólido y el ángulo de contacto será pequeño. Para los sólidos que sean menos hidrófilos el ángulo de contacto puede variar entre 0° y 30° . Si la superficie del sólido es hidrófoba el ángulo de contacto será mayor que 90° . En superficies muy hidrófobas el ángulo puede ser mayor a 150° e incluso cercano a 180° . En estos casos el agua reposa sobre la superficie pero no la moja ni tampoco se extiende sobre ellas. Como ya hemos comentado, la flor del loto consigue esto gracias a las nanorugosidades que presenta su superficie.

Desde otro punto de vista podemos considerar este efecto como repulsiones entre diferentes materiales. Las moléculas de agua interactúan mejor entre sí mismas que con las moléculas del aire, de manera que adoptan una forma esférica, ya que esta es la forma geométrica que tiene una menor superficie para un mismo volumen. Siguiendo esta explicación, la nanoestructura de la superficie de la Flor de Loto reduce al máximo la atracción de las moléculas de agua por las de la hoja, por lo que entran en contacto y de manera muy débil el menor número de moléculas de agua y de hoja, formando de este modo un ángulo de contacto superior a los 90° . Si por el contrario las moléculas de la hoja y las de la gota se atraerán en mayor medida, las moléculas de agua estarían más cómodas en contacto con estas que con las del aire, de modo que la superficie agua-hoja aumentaría, descendiendo a la vez el ángulo de contacto.

25

Experiencia 9

EXPERIMENTO PARA OBSERVAR EL "EFECTO LOTUS"

Divulgando: La evolución ha dotado a ciertas plantas de la capacidad de repeler el agua, para evitar los daños que la exposición continua del agua puede ejercer sobre sus hojas, pero a la vez también las protege de la suciedad o contaminantes que pueden caer sobre su superficie (esporas, algas, polvo, etc...), ya que cuando las gotas de agua recorren la superficie de las hojas, recogen todas las par-

ticulas de suciedad, que no están adheridas a las hojas debido a dicho efecto. Donde mejor se aprecia este efecto es en las hojas del loto, de donde viene el nombre de esta propiedad "efecto lotus". Para verlo vamos a proyectar el video cuyo link aparece en el apartado "Material" de esta experiencia. A continuación observaremos este efecto en una especie más fácil de conseguir: una hoja de col.

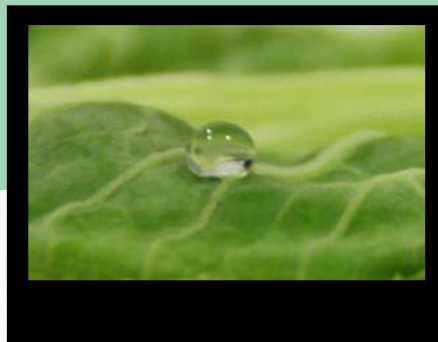
Protocolo: Proyectar el video en el aula y a continuación realizar la misma experiencia utilizando una hoja de col.

Material:

- Pipeta Pasteur
- Vaso de precipitados

Proporcionado por el profesor:

- Portátil y cañón de proyección
- Conexión a Internet
- Pantalla de proyección
- Link: <http://www.youtube.com/watch?v=LJtQ6dvcbOg>
- Agua
- Hoja de col



26

Experiencia 10

PRODUCTO ANTI-VAHO

Divulgando: Todos conocemos lo que es el vaho: consiste en la condensación del vapor de agua al entrar en contacto con una superficie fría. Esto es lo que ocurre cuando salimos de la ducha y vemos que el espejo está empañado. En esa situación este efecto nos puede parecer gracioso e inofensivo. Pero a su vez este efecto puede acarrear problemas, sobre todo de visibilidad, por ejemplo en los parabrisas de los vehículos en invierno, o en los cascos de motoristas. El problema de la formación de vaho casi impidió el famoso sal-

to desde la estratosfera de Félix Baumgartner. Así que este ha sido un campo de investigación para científicos desde hace mucho tiempo. Ahora con la nanotecnología se ha conseguido dar una nueva solución al problema, a través de un líquido que agrega una superficie con nanopertuberancias y que aumenta la afinidad del agua sobre el cristal, de manera que esta se dispersa de manera más uniforme, sin formar gotas microscópicas, con un ángulo de humectancia próximo a cero, por lo que a simple vista no podemos observar la diferencia.

Protocolo: Pulverizamos una pequeña cantidad de líquido anti-vaho en el vaso de precipitados y con ayuda del pincel aplicamos el líquido en el espejo y en el vidrio de reloj. También podemos hacerlo en el cristal de la ventana de clase. Esperamos unos pocos mi-

nutos a que la solución se seque. A continuación aplicaremos vaho, con ayuda de nuestro aliento y observaremos como se forma vaho en toda la ventana a excepción de la zona donde hemos puesto el líquido anti-vaho.

Observaciones: si pasamos nuestro dedo por un cristal, le transferimos a este suciedad (grasa) proveniente de nuestras manos, lo que también reduce un poco la adhesión del vaho, pero no en la misma medida que el líquido anti-vaho y tampoco permite una visibilidad tan óptima.

PRECAUCIÓN: El líquido anti-vaho está compuesto por trazas de propanol, por lo que hay que tenerlo alejado de fuentes inflamables.

Material:

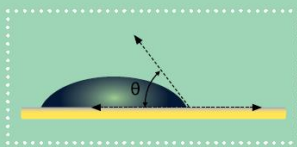
- Pincel
- Líquido anti-vaho
- Espejo
- Vidrio de reloj
- Vaso de precipitados



27

Experiencia 11

ÁNGULO DE HUMECTANCIA

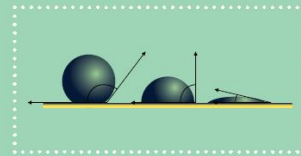


Ángulo de humectancia

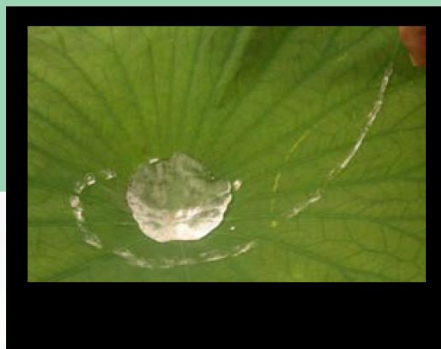
Divulgando: El ángulo de humectancia es el que forma la superficie de un líquido al depositarse sobre un sólido. El valor del ángulo de contacto depende principalmente de la relación que existe entre las fuerzas de adhesión entre el líquido y el sólido y las fuerzas cohesivas del líquido. Cuando las fuerzas de adhesión con la superficie del sólido son muy grandes en relación a las fuerzas cohe-

sivas, el ángulo de humectancia es menor de 90° , teniendo como resultado que el líquido moja la superficie.

Podemos decir que una superficie hidrofoba tiene un ángulo de humectancia superior a 90° y una hidrofílica tendrá un ángulo inferior a 90° .



Diferentes ángulos de humectancia



28

Para poder observar este ángulo, nos vamos a ayudar de la lupa USB y visualizaremos la imagen en un ordenador.

Protocolo: En primer lugar conectamos la lupa al ordenador y enfocamos algún material, por ejemplo la manga de nuestro jersey o un cabello, para ver el aumento de la imagen. A continuación depositamos una gota de agua

encima del fragmento de tissu-sec con ayuda de la pipeta Pasteur. Observamos que la gota no impregna la tela. A continuación enfocamos con nuestra lupa y observamos la imagen en el ordenador. Observaremos un ángulo de humectancia mayor de 90° .

OBSERVACIONES: Para que la lupa funcione hay que instalar previamente los drivers que

se encuentra en el CD que acompaña el material.

Material:

- Lupa USB
- Pipeta Pasteur
- Trozo de tela hidrofóbica
- Vaso de precipitados

Proporcionado por el profesor:

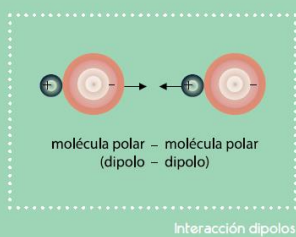
- Ordenador
- Agua

29

Experiencia 12

ARENA MÁGICA

Divulgando: El agua es una sustancia polar, cuando se acerca a otra sustancia también polar como la arena (formada por sílice) hay una atracción de tipo eléctrico, los polos se orientan y se atraen como las cargas eléctricas. El agua moja a la arena.



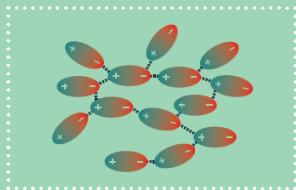
En este experimento vamos a utilizar una arena mágica, que en realidad es sílice tratada con vapores de trimetilhidroxisilano ($(\text{CH}_3)_3\text{SiOH}$), lo que la convierte en una sustancia apolar y por tanto hidrófoba ya que dejará de tener afinidad por el agua. El agua no llega a mojar la arena.

Protocolo: Llenamos el vaso de precipitados con agua y ponemos una pequeña cantidad de arena en uno de los filtros. A continuación sumergimos el filtro con la arena en el vaso. Cuando lo saquemos podremos observar que la arena se ha mojado. A continuación repetimos la operación utilizando la arena mágica. Podemos observar a simple vista que la arena no se moja. También podemos visualizar que los granos de arena mágica permanecen secos con ayuda de la lupa USB. La arena normal está formada por pequeños granos



30

de sílice, que es una sustancia hidrófila por lo que tiene afinidad por el agua. El agua es una sustancia polar, cuando se acerca otra sustancia también polar (como la sílice) hay una atracción de tipo eléctrico, los polos se orientan y se atraen como las cargas eléctricas. El agua moja a la arena.



Interacciones dipolares

La arena mágica es sílice tratada con vapores de trimetilhidroxisilano ($(CH_3)_3SiOH$), lo que convierte a la arena en una sustancia apolar y por tanto hidrófoba ya que dejará de tener afinidad por el agua.

Al observar lo que ocurre con una lupa veremos como el agua no llega a mojar la arena.

OBSERVACIONES: En el caso de añadir la arena directamente sobre el agua, recuperar la arena con ayuda de un colador y guardarla en otro recipiente para poderla reutilizar en futuras experiencias. No mezclar la arena reciclada con la original.

Material:

- Arena mágica
- Arena normal
- Lupa USB (opcional)
- Filtros arena
- Vaso de precipitados

Proporcionado por el profesor:

- Agua

CAPÍTULO 5: MEMORIA DE FORMA

NITINOL

A LA LUZ DE NUESTROS OJOS

Algunos materiales, como el nitinol, una aleación de níquel y titanio, presentan una peculiar propiedad, la "memoria de forma" que consiste en que el material recupera su forma original al calentarlo.

A LA LUZ DE LA NANOESCALA

El efecto "memoria de forma" no representa en sí un logro de la nanotecnología, pero permite la comprensión de los efectos del movimiento a nivel nanométrico. El cambio estructural que se produce al variar la temperatura es debido a la transición entre dos estructuras cristalográficas distintas de un mismo material.

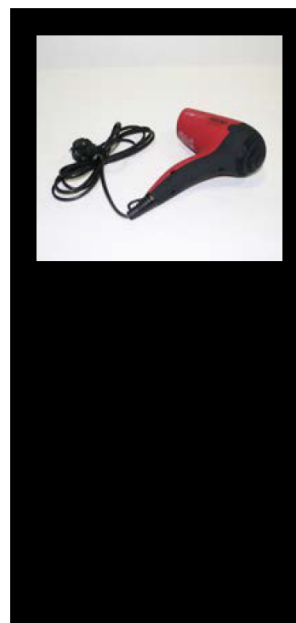
El mecanismo más común de transición de fase consiste en el desplazamiento de átomos de sus posiciones de equilibrio, mediante un proceso conocido como difusión, para adoptar una nueva estructura más estable en las condiciones de presión y temperatura a las que se encuentra el material. Este tipo de transiciones se pro-

duce generalmente de una forma lenta.

Las aleaciones con memoria de forma deben sus propiedades a una transición de fase entre una estructura de tipo "austenita" y una de tipo "martensita".

La "martensita" (de baja temperatura) es una fase menos cúbica. Una vez que se ha generado por enfriamiento la fase "martensita", se puede realizar fácilmente una deformación plástica (permanente), pero la transformación por calentamiento recupera la única estructura de tipo "austenita" posible. Este efecto, a escala macroscópica, se manifiesta en la recuperación de la forma inicial.

Los metales con memoria tienen la propiedad de recordar su forma original, a la que vuelven al aplicarles un cambio de temperatura.



Experiencia 13

NITINOL

Divulgando: ¿Alguna vez habéis visto cómo se reordenan los átomos? Vais a ver como se reordenan los átomos de este metal, al calentar el metal cambia de estructura recuperando la única estructura posible, de forma que vuelve a su forma inicial. Es como si todos los alumnos de esta clase que habitualmente ocupáis los mismos asientos, cambiaseis de ubicación, pero manteniendo el orden de

la clase, de forma que el resultado fuese una clase más ordenada.

Protocolo: Se moldea un trozo de nitinol a la vista de los alumnos, a continuación se calienta con el secador y se observa como al aplicarle calor vuelve a su forma original, la que tenía antes de deformarlo.

Material:

- Nitinol
- Secador

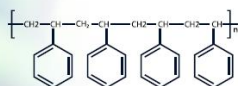


33

MATERIALES COTIDIANOS CON MEMORIA DE FORMA

A LA LUZ DE NUESTROS OJOS

El poliestireno (PS) es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno.



Fórmula poliestireno

Existen cuatro tipos principales:

- El poliestireno cristal, que es transparente, rígido y quebradizo.
- El poliestireno de alto impacto, resistente y opaco.
- El poliestireno expandido, muy ligero.
- El poliestireno extrusionado, similar al expandido pero más denso e impermeable.

Las aplicaciones principales del poliestireno son la fabricación de envases mediante extrusión-termoformado, y de objetos diversos mediante moldeo por inyección. Las formas expandida y extruida se emplean principalmente como aislantes térmicos en construcción y como elemento de protección en los embalajes de objetos frágiles.

Las ventajas principales del poliestireno son su facilidad de uso y su costo relativamente bajo. Sus principales desventajas son su baja resistencia a temperaturas elevadas, y dependiendo de su densidad, alta permeabilidad a los gases y al vapor de agua.



34

A LA LUZ DE LA NANOESCALA

La fabricación de polímeros en una base de arcilla a nivel de nanotecnología produce un tipo de materiales alternativos, cuyas pruebas iniciales muestran que este tipo de nanopolímeros mejoran muchas de sus propiedades fisicoquímicas, especialmente en cuanto a sus propiedades térmicas y mecánicas.

El uso de nanocompuestos provee una gran oportunidad para superar las limitaciones que pueda presentar el poliestireno.

Entre los tipos de nanocompuestos más usados están los silicatos laminados (arcillas), nanotubos de carbono y los nano-whiskers de celulosa, titanato laminado ultra fino.



35

Experiencia 14

MATERIALES COTIDIANOS CON MEMORIA DE FORMA

Divulgando: El objetivo de la actividad es mostrar cómo algunos materiales que utilizamos en la vida cotidiana, en determinadas condiciones, pueden recuperar la forma que tenían antes de ser transformados (memoria de forma). Es el caso de algunos termoplásticos.

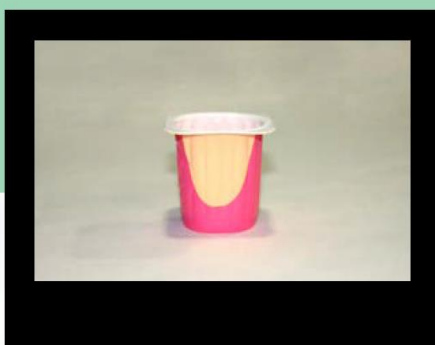
En este caso el plástico utilizado es un enva-

se de "Petit Suisse" fabricado con poliestireno (PS). El poliestireno es un polímero constituido por moléculas que forman cadenas muy largas; cuando se moldea para fabricar los envases las cadenas se estiran. Al elevar la temperatura las cadenas tienden a recuperar su disposición inicial.

Protocolo: Primero encendemos el mechero Bunsen.

Con ayuda de unas pinzas cogemos el envase y lo colocamos encima de la fuente de calor evitando el contacto directo.

Mantenemos el envase cerca de la fuente de calor a la vez que lo giramos con cuidado con



36

ayuda de las pinzas. El envase empieza a "encogerse".

Cuanto más despacio se realice el procedimiento, mejor resultará el experimento. Si el proceso es lo suficientemente lento, al final, obtendremos el trozo de lámina de plástico que se utilizó para fabricar el envase. El efecto es más espectacular si se utiliza un envase con líneas de colores.

A continuación se puede realizar el mismo procedimiento con otro recipiente de plástico, como un vaso y observar la diferencia.

PRECAUCIÓN: Hay que tomar las medidas de seguridad apropiadas para evitar quemaduras derivadas de la manipulación de la fuente de calor.



Material proporcionado por el profesor:

- Mechero Bunsen
- Envase de poliestireno ("Petit Suisse")
- Pinzas
- Mechero o cerillas

37

CAPÍTULO 6: CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

A LA LUZ DE NUESTROS OJOS

La conductividad eléctrica es la capacidad de un material para dejar circular libremente las cargas eléctricas a través de él. Depende, entre otros factores, de la estructura atómica y molecular del material.

El **grafito** es una de las formas alotrópicas (posibles estructuras sólidas) en las que se puede encontrar el carbono. Está formado por láminas de hexágonos de carbono, apiladas entre sí. A lo largo de las capas, se comporta como un conductor semimetálico.

El **grafeno** también está formado por átomos de carbono dispuestos en un patrón regular hexagonal, similar al grafito, pero formando una única capa, es decir, una finísima lámina, de un solo átomo de espesor.

Posee muchas propiedades sobresalientes: es transparente, flexible, extraordinariamente resistente, impermeable y conduce la electricidad mejor que ningún otro metal conocido.

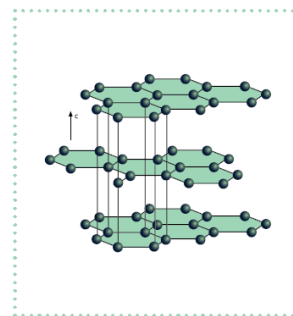
38

Aunque fue sintetizado por primera vez en 2004, saltó a la fama en 2010 cuando sus descubridores, los investigadores de origen ruso Andre Geim (Sochi, 1958) y Konstantin Novoselov (Nizhny Tagil, 1974) recibieron el Premio Nobel de Física, por su obtención a partir de grafito.

A LA LUZ DE LA NANOESCALA

Las uniones entre los átomos de carbono de una misma lámina son muy fuertes, ya que son enlaces covalentes, en donde cada átomo de C está unido a otros tres, por lo que tienen una hibridación "sp²". Esta hibridación supone que cada átomo de carbono tendrá un orbital "p" sin hibridar albergando un electrón desapareado. Esto provoca que se forme una densidad electrónica deslocalizada por encima y por debajo de los anillos hexagonales, y esta deslocalización de la carga es lo que provoca la conducción eléctrica de este material. El carbono se comporta como un conductor a lo largo de una capa, pero sin embargo opone mucha más resistencia a la conducción perpendicular a las capas,

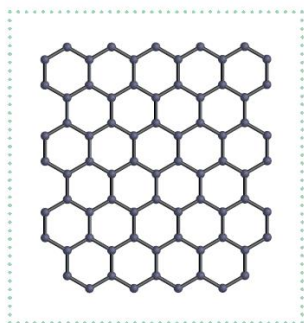
comportándose como un semiconductor.



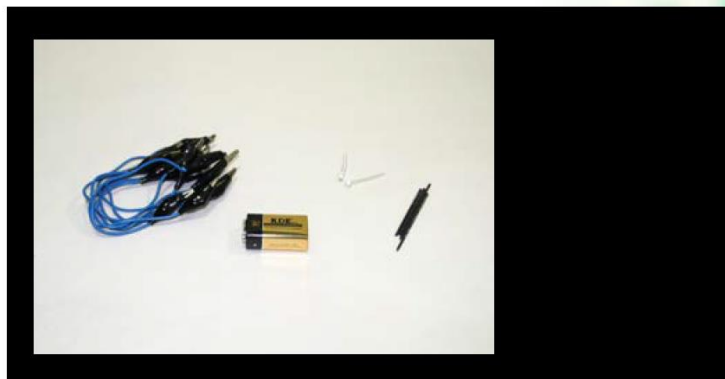
Grafito

Por otro lado, las uniones entre los átomos de C de láminas diferentes es mucho más débil, ya que se tratan de interacciones de Van der Waals. Por esta razón el grafito se puede exfoliar, romper en capas, y esto es lo que le permite usarse como material para la punta de los lapiceros.

El grafeno es un nuevo material formado únicamente por una fina capa de átomos de carbono, es un teselado hexagonal plano (como un panal de abeja) formado por átomos de carbono y enlaces covalentes que se forman a partir de la superposición de los híbridos sp^2 de los carbonos enlazados.



Grafeno



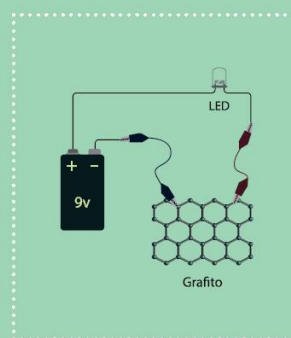
Experiencia 15

CIRCUITO ELÉCTRICO CON GRAFITO

Divulgando: Se comienza preguntando a los alumnos: ¿Sabéis que todos los diamantes de las joyerías, algún día acabaran convirtiéndose en grafito, en mina de lápiz? Tardaran mucho tiempo, pero acabaran así. Esto ocurre porque el diamante y el grafito son lo mismo (desde el punto de vista de su composición, claro), están constituidos por los mismos átomos, carbono, solo se diferencian en la organización de estos en el espacio. Y esto es lo que les confiere unas propiedades tan distintas, a uno y a otro. Uno de los de los descu-

brimientos más importantes de este siglo ha sido el grafeno, el cual también está formado por átomos de carbono, y que ha asombrado a todo el mundo por sus prometedoras propiedades, jamás vistas en otro material.

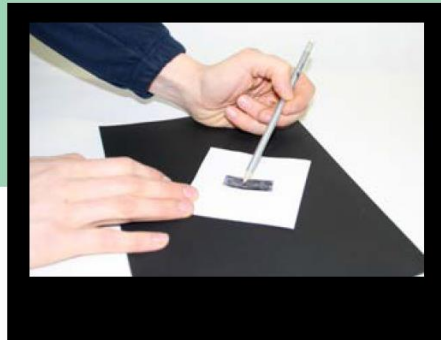
Protocolo: Lo primero que haremos es construir el circuito y conectar el LED siguiendo este esquema.



Esquema circuito

Una vez que lo tengamos preparado, dibujaremos un rectángulo sobre una hoja de papel y lo pintaremos con la barra de grafito. El rectángulo tiene que ser de varios centímetros de longitud y tenemos que ser generosos a la hora de pintarlo para que quede relleno de una buena capa de grafito.

Una vez tenemos todo, es hora de colocar sobre el rectángulo de grafito las dos pinzas. El LED se enciende. Ahora podemos mover las pinzas a través del rectángulo, alejándolas y juntándolas, para observar lo que ocurre.



Material:

- Barra de grafito
- LED
- Pila de 9v
- 4 cables con pinzas

Proporcionado por el profesor:

- 1 folio

41



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilera-Jiménez, P. (2017). Los guías de los museos de ciencia como mediadores en la comunicación pública de la ciencia: un acercamiento crítico a sus patrones de conducta. Tesis para optar por el grado de doctorado en Filosofía de la Ciencia. México: Universidad Nacional Autónoma de México. URL: <http://ru.ameyalli.dgdc.unam.mx/handle/123456789/237>

Aguilera-Jiménez, P. (2007). Los guías de los museos deficiencia como mediadores de la participación de los visitantes: el caso del Museo de la Luz. *De la academia al espacio público. Comunicar ciencia en México*, 127.

Aguirre Raya, D.A. (2005). Reflexiones acerca de la competencia comunicativa profesional. *Revista Cubana de Educación Médica Superior*, 19(3). URL: <http://scielo.sld.cu/pdf/ems/v19n3/ems04305.pdf>

Akpınar, E., Yıldız, E., Tatar, N., y Ergin, Ö. (2009). Students' attitudes toward science and technology: an investigation of gender, grade level, and academic achievement. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 1(1), 2804-2808. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2009.01.498>

Alcíbar, M. (2015). Comunicación pública de la ciencia y la tecnología: una aproximación crítica a su historia conceptual. *Arbor* 191 (773):242. URL: <https://doi.org/10.3989/arbor.2015.773n3012>

Alderoqui, D. (2009). Los módulos interactivos en un museo de ciencias como herramientas de aprendizaje científico. Tesis doctoral no publicada, Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Madrid, España.

Alderoqui, S., y Pedersoli, C. (2010). El público como patrimonio. *Her y Mus. Heritage y Museography*, 5, 123-125.

Ali, M. M., Yager, R., Hacieminoglu, E., y Caliskan, I. (2013). Changes in student attitudes regarding science when taught by teachers without experiences with a model professional development program. *School Science and Mathematics*, 113(3), 109- 119. URL: <https://doi.org/10.1111/ssm.12008>

Allgaier, J. (2020). Science and medicine on YouTube. *Second international handbook of Internet research*, 7-27.

Alonso Flores, F. J. (2022). El impacto social de la comunicación institucional del I+D+i en las universidades españolas. (Doctoral dissertation, Universitat de Valencia (Spain))

Alonso, A. B., y Ortiz, L. T. (2022). Influencers de ciencia en Twitch. Divulgación científica a través de vídeo-streaming en tiempos de COVID-19. *Teknokultura*, 19(2), 165-176.

Alonso Gutiérrez, B. J., López Meléndez, A., Rodríguez Liñan, C. Y., y Lázaro López, D. A. (2015). La nanotecnología a 40 años de su aparición: Logros y tendencias. *Ingenierías*, 18(66), 13-23.

Álvarez-Angulo, T. (1996). El texto expositivo-explicativo: su superestructura y características textuales. *Didáctica 8*: 29-44.

Anguita, J. C., Labrador, J. R., Campos, J. D., Casas Anguita, J., Repullo Labrador, J., y Donado Campos, J. (2003). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I). *Atención primaria*, 31(8), 527-538.

Aragón Rodríguez, S. (2020). Retos nano-didácticos: una aproximación en básica

primaria a los conceptos de nanociencia y nanotecnología. URL:
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78842/52467374.2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Aranzabal, J. G., y Morentin, M. (2009). Concepciones del profesorado sobre visitas escolares a museos de Ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, (Extra), 592-595.

Araújo, A. V. D. (2015). Feira de ciências: contribuições para a alfabetização científica na educação básica. Disertación doctoral, Universidad Federal do Ceará, Brasil.

Arias, I.M. (2015). Diseño y validación de un cuestionario de escala formativa para valorar las competencias transversales de estudiantes universitarios. Una propuesta para dispositivos móviles basada en Android. *Universitas Tarraconensis. Revista de Ciències de l'Educació*, (1), 84-87,
<https://doi.org/10.17345/ute.2015.1.661>

Arnau Grass, J. (1995). Metodología de la investigación psicológica. M^a. T. Anguera et al., *Métodos de investigación en psicología*. Madrid: Síntesis.

Arribas, M. (2004). Diseño y validación de cuestionarios. *Matronas profesión*, 5(17), 23-29.

Arruebo, M., Fernández-Pacheco, R., Ibarra, M. R., y Santamaría, J. (2007). Magnetic nanoparticles for drug delivery. *Nano today*, 2(3), 22-32.

Asadujjaman, M., Cho, K.H., Jang, D.J., Kim, J.E. y Jee, J.P. (2020). Nanotechnology in the arena of cancer immunotherapy. *Arch. Pharm. Res.*, 43(3), 58–79. URL:

<https://doi.org/10.1007/s12272-020-01207-4>

Ausubel, D. P., y Ausubel, D. P. (2000). The nature of meaning and meaningful learning. The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view, 67-100.

Babaođlan, B., y Arıkan, T. (2017). Sixth grade students' attitude toward science course. Turkish Journal of Education, 6(2), 68-78.

Bachelard, G. (1934). El nuevo espıritu cientıfıco (1985). México: Editorial Nueva Imagen.

Bachelard, G. (1993). La formación del espıritu cientıfıco. Siglo xxi.

Barba, M. D. L. P., Castillo, J. P. G. D., y Massarani, L. (2019). Public engagement in science: Mapping out and understanding the practice of science communication in Latin America. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 91.

Bauer, M. W. y Howard, S. (2013). The Culture of Science in Modern Spain: An Analysis of Public Attitudes Across Time, Age Cohorts and Regions. Madrid: Fundación BBVA

Bauer, M. W., Howard, S., Romo Ramos, Y. J., Massarani, L., y Amorim, L. (2013). Global science journalism report: working conditions & practices, professional ethos and future expectations. Science and Development Network. URL: <https://goo.gl/rqMThJ>

Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M. y Rizzolio, F. (2020). The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical–Physical Applications to Nanomedicine. Molecules, 25(1), 112. URL <https://doi.org/10.3390/molecules25010112>

Bell, P., Lewenstein, B. V., Shouse, A., y Feder, M. (Eds.) (2009). *Learning Science in Informal Environments: People, Places, and Pursuits*. Washington, DC: National Academies Press

Bello Garcés, S. (2004). Ideas previas y cambio conceptual. *Educación química*, 15(3), 210-217.

Bencze, J. L., y Bowen, G. M. (2009). A national science fair: Exhibiting support for the knowledge economy. *International Journal of Science Education*, 31(18), 2459-2483.

Benlloch, M. (2002). *La educación en ciencias: ideas para mejorar su práctica*. Paidós.

Berelson, B. 1952. *Content Analysis in Communication Research*. Free Press, Gencoe, Illinois. Pp.14-15

Belenguer Jané, M. (2003). Información y divulgación científica: dos conceptos paralelos y complementarios en el periodismo científico. *Estudios sobre el mensaje periodístico*, 9, 43-53.

Best R.M. y M. Rowe, et al., 2005. Deep-level comprehension of science texts – the role of the reader and the text. *Topics in language disorders*, 25(1), 65–83.

Bik, H.M. y Goldstein, M.C. (2013). An Introduction to Social Media for Scientists. *PLoS Biology*, 11 (4), e1001535.

Blanco López, Á. (2004). Relaciones entre la educación científica y la divulgación de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (2), 70 -

86.

Bogdan Toma, R., Ortiz-Revilla, J., y Greca, I. M. (2019). ¿Qué actitudes hacia la ciencia posee el alumnado de Educación Primaria que participa en actividades científicas extracurriculares? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 3(1), 55-69. URL: <https://doi.org/10.17979/arec.2019.3.1.4599>

Bonazzi, M., Von Bose, H., y Tokamanis, C. (2010). *Communicating Nanotechnology: Why, to whom, saying what and how?*. European Commission, Brussels, 188p. URL: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/communicating-nanotechnology_en.pdf

Brossard, D., y Scheufele, D. A. (2013). *Science, New Media and the Public*. *Science*, 339 (6115), 40-41.

Brown B. A., Reveles J. M. K., Gregory J. (2005) *Scientific literacy and discursive identity: a theoretical framework for understanding science learning*. *Science Education* 89, 779-802.

Budd, R.W. and Thorp, 1967. *Content Analysis of Communications*. The McMillan Company. N.Y. 35p

Burns, T. W., O'Connor, D. J., y Stocklmayer, S. M. (2003). *Science Communication: A contemporary definition*. *Public Understanding of Science*, 12(2), 183–202. URL: <https://doi.org/10.1177/09636625030122004>

Cabré, M. T. 2002. *Textos especializados y unidades de conocimiento: metodología y tipologización. Texto, terminología y traducción*. Eds. J. García Palacios y M. T. Fuentes. Salamanca: Ediciones Almar. 15-36.

Calderón, M. J. (2017). Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia. *Revista Española de Física*, 31(1), 23.

Caleon, I. S., y Subramaniam, R. (2008). Attitudes towards science of intellectually gifted and mainstream upper primary students in Singapore. *Journal of Research in Science Teaching*, The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching, 45(8), 940-954. URL: <https://doi.org/10.1002/tea.20250>

Calsamiglia, H. y A. Tusón. 2007 (1999). *Las cosas del decir. Manual de análisis del discurso*. Barcelona: Ariel Lingüística.

Calvo Hernando, M. (2006). *Arte y ciencia de divulgar el conocimiento*. Ciespal: Quito, Ecuador.

Calzada Prado, J., y Marzal, M. Á. (2013). Incorporating data literacy into information literacy programs: Core competencies and contents. *Libri*, 63(2), 123-134.

Camacho-Elizondo, M., Batista-Menezes, D., Mora-Bolaños, R., Vega-Baudrit, J., y Montes de Oca-Vásquez, G. (2022). Nanotechnology diffusion strategy: interdisciplinary teaching to primary school teachers. *Uniciencia*, 36(1), 1-13. <https://doi.org/10.15359/ru.36-1.3>

Campillo, S. (2015). *Evaluación de la calidad de la divulgación científica aplicada a la biotecnología en los medios digitales (tesis de Máster en Biología Molecular y Biotecnología)*. Universidad de Murcia, España.

Cañal, P. (2012) La evaluación de la competencia científica requiere nuevas formas de evaluar los aprendizajes. En E. Pedrinaci (Coord.) *11 ideas clave: El desarrollo de*

la competencia científica (pp. 241-267). Barcelona: Graó.

Casado, M.; Jordi Díaz, Gerard Guimerà, Joan Mendoza, Roger Ponce, Pedro A. Serena y María Tenorio. Libro blanco de las nanotecnologías. Una visión ético-social ante los avances de la nanociencia y la nanotecnología, 2021.

Editorial: Aranzadi (Thomson Reuters). ISBN: 978-84-1391-116-8

Casas, J., García, J. y González, F. (2006). Guía técnica para la construcción de cuestionarios. *Odiseo*, revista electrónica de pedagogía, 6. URL:

http://www.odiseo.com.mx/2006/01/casas_garcia_gonzalez-guia.htm

Cascarosa Salillas, E., Pozuelo Muñoz, J., Jiménez, M., y Fernández Álvarez, F. J. (2022). Analysis of the mental model about the atom concept in Spanish 15-to 18-years old students. *Educación química*, 33(2), 181-193. URL:

<http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2022.2.79895>

Cassany, D. (2008). Taller de textos. Leer, escribir y comentar en el aula. Buenos Aires: Paidós. Colección Papeles de Pedagogía.

Cassany, R., Cortiñas, S., Elduque, A. (2018). Comunicar la ciencia: El perfil del periodista científico en España. En: *Scientific Journal of Media Education*: 55, 2, 2018, Huelva: Grupo Comunicar, 2018, 1988-3293 - Casalini id: 4351934" - P. 9-18
<http://digital.casalini.it/10.3916/C55-2018-01>

Castellanos, P. (2008). Comunicar la ciencia en la sociedad del riesgo: Los medios y los museos de ciencias como mediadores sociales. *Razón y Palabra*, (65).

Recuperado de <http://www.razonypalabra.org.mx/N/n65/actual/pcastellanos.html>

Castellini, O. M., Walejko, G. K., Holladay, C. E., Theim, T. J., Zenner, G. M., y Crone, W. C. (2007). Nanotechnology and the public: Effectively communicating nanoscale

science and engineering concepts. *Journal of Nanoparticle Research*, 9, 183-189.

Castillo Vargas, A. (2015). Actitudes hacia la difusión y la divulgación de la ciencia en la investigación académica: un modelo estructural desde la teoría de la acción razonada.

Castro Díaz-Balart, Fidel. *Ciencia, innovación y futuro*. Barcelona: Ediciones Grijalbo. 2000. pp. 134-137

Cazaux, D. (2008). La comunicación pública de la ciencia y la tecnología en la 'sociedad del conocimiento'. *Razón y Palabra*, (65). URL: <http://www.razonypalabra.org.mx/N/n65/actual/dcasaux.html>

Centella, R. N. (2010). Galileo, pionero de la divulgación científica. *El País*.

Chacón, C. (2006) Formación inicial y competencia comunicativa: percepciones de un grupo de docentes de inglés. *Educere* 10(32), 121-130.

Chen, F., Liu, X., Yang, H., Dong, B., Zhou, Y., Chen, D., . . . y Xu, W. (2016). A simple one-step approach to fabrication of highly hydrophobic silk fabrics. *Applied Surface Science*, 360, 207-212. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.10.186>

Chevallard, Y., y Johsua, M. A. (1982). Un exemple d'analyse de la transposition didactique: la notion de distance. *Recherches En Didactique Des Mathématiques Grenoble*, 3(2).

Chevallard, Y. (1991). La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado. In *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado* (pp. 196-196).

Chevallard, Y. (2000). *La transposición didáctica: Del saber sabio al saber enseñado*.

Aique Grupo Editor, S. A.

Christoph, R., y Muñoz, R. (2015). Parte 1: Sobre el contexto de las dimensiones nanométricas.

Ciapuscio, G.E. (2011). De metáforas durmientes, endurecidas, nómades: Un enfoque lingüístico de las metáforas en la comunicación de la ciencia. *Arbor*, 187 (747), 89-98.

Colado, A. L. (2021). Educación formal y educación no formal: acortando las distancias. *Quaderns d'animació i educació social*, 33(9).

Comisión Europea (2001). Eurobarometer 55.2: Europeans, Science and Technology. Eurobarometer Special Survey 154. Bruselas: Directorate General Press and Communication.

Comisión Europea (2008). Recommendation on a code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research, C(2008) 424

Comisión Europea (2010). Eurobarometer 73.1: Biotechnology. Special Eurobarometer 341. Bruselas: Directorate General Press and Communication.

Coombs, Ph. H., Prosser, R. C. y Ahmed, M. (1973) *New Paths To Learning for Rural Children and Youth* (International Council for Educational Development for UNICEF).

Corley, E. A. y Scheufele, D. A. (2010). "Outreach gone wrong? When we talk nano to the public, we are leaving behind key audiences". *The Scientist*, 24 (1), 22.

Cortassa, C. (2012). *La ciencia ante el público. Dimensiones epistémicas y culturales*

de la comprensión pública de la ciencia. Buenos Aires: Eudeba.

Crone, W. y Koch S.E. (2006). Bringing nano to the public: A collaboration opportunity for researchers and museums. Minnesota: NISE Network. Science Museum of Minnesota.

Cuesta, M., Díaz Palacios, M. P., Echevarría, I., Morentin, M., y Pérez Abad, C. (2000). Los museos y centros de ciencia como ambientes de aprendizaje. Alambique: didáctica de las ciencias experimentales.

Currall, S. C. (2009). New insights into public perceptions. *Nature Nanotechnology*, 4(2), 79-80.

Damasio, F., Allain, O., y Rodrigues, A. A. (2013). Clube de astronomia de Araranguá: a formação de professores de ciências como divulgadores científicos. *Revista Latinoamericana de Educação em Astronomia*, (15), 65-77. URL: <https://doi.org/10.37156/RELEA/2013.15.065>

Danielson, W.A. 1967. Análisis de contenido en la investigación de la comunicación.

Dantas, L. F. S., y Deccache-Maia, E. (2020). Scientific Dissemination in the fight against Fake News in the Covid-19 times. *Research, Society and Development*, 9(7), e797974776. URL: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4776>

Davies, Sarah R.; Horst, Maja (2016). Davies, Sarah R., ed. The Changing Nature of Science Communication: Diversification, Education and Professionalisation. *Science Communication: Culture, Identity and Citizenship*, 79-101.

Davis, L. S., León, B., Bourk, M. J., y Finkler, W. (2020). Transformation of the media landscape: Infotainment versus expository narrations for communicating science in

online videos. *Public Understanding of Science*, 29(7), 688-701. URL:
<https://doi.org/10.1177/0963662520945136>

Daza, S., Arboleda, T., Rivera, Á., Bucheli, V., y Álzate, J. F. (2016). Evaluación de las actividades de comunicación pública de la ciencia y la tecnología en el sistema nacional de ciencia y tecnología colombiano. 1990-2004.

De Greiff, A. y Maldonado, O. J. (2011). Apropiación fuerte del conocimiento: una propuesta para construir políticas inclusivas de ciencia, tecnología e innovación, 209-262. En A. Arellano y P. Kreimer (Eds.), *Estudio social de la ciencia y la tecnología desde América Latina*. Bogotá, Colombia: Siglo del Hombre Editores.

De Pro Bueno, A., y Pérez Manzano, A. (2014). Actitudes de los alumnos de Primaria y Secundaria ante la visión dicotómica de la Ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 111-132. URL: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1015>

De Semir, V. (2001). Decir la ciencia: las prácticas divulgativas en el punto de mira. *Panacea*, 2(3), 95.

Delgado, G. C. (2008). Guerra por lo invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades.

Denessen, E., Vos, N., Hasselman, F., y Louws, M. (2015). The relationship between primary school teacher and student attitudes towards science and technology. *Education Research International*, 2015, 1-7. URL:
<https://doi.org/10.1155/2015/534690>

De Miguel, M. (2006) Metodologías para optimizar el aprendizaje. Segundo objetivo del Espacio Europeo de Educación Superior. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado* 20(3), 71-91.

De Rada, V. D. (2012). Ventajas e inconvenientes de la encuesta por Internet. *Papers: revista de sociologia*, 193-223.

Deutschmann, P. (1965). Estudio comparativo de doce diarios metropolitanos. CIESPAL. Centro Internacional de Estudios Superiores de Periodismo para America.

DeWitt, J., y Archer, L. (2015). Who aspires to a science career? A comparison of survey responses from primary and secondary school students. *International Journal of Science Education*, 37(13), 2170-2192. URL: <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1071899>

Diamond, J., Horn, M., y Uttal, D. H. (2016). *Practical evaluation guide: Tools for museums and other informal educational settings*. Rowman & Littlefield.

Dib, C. Z. (1988). Formal, non-formal and informal education: concepts/applicability. In *AIP conference proceedings* (Vol. 173, No. 1, pp. 300-315). American Institute of Physics.

Dierking, L. D. (2008). Evidence and categories of ISE impacts. *Framework for evaluating impacts of informal science education projects*, 19-30.

Domínguez Álvarez, J. A., Lafuente, R., Ranchal Romero, J., y Trujillo Carmona, M. (2023). Evaluación de La Noche Europea de L@s Investigador@s Andalucía. *Open Researchers* 2022.

Domínguez, C. A., Arredondo, G. G., Haynes, E. R., Jiménez, J. A., Garcimuño, M., Soriano, M. A. O., ... y Nestor, A. P. M. (2020). *Repensar los museos y centros de ciencias*. UNAM, Dirección General de Divulgación de la Ciencia.

Domínguez-Sales, C., y Guisasola, J. (2010). Diseño de visitas guiadas para manipular y pensar sobre la ciencia del mundo clásico grecolatino. El taller "logos et physis" de Sagunto. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(2), 473-491.

Drexler, K. E. (2002). *Molecular machinery, manufacturing, and computing*. 5ª Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Einsiedel E. F., Goldenberg L. (2004) Dwarfing the social? Nanotechnology lessons from the biotechnology front. *Bulletin of Science, Technology & Society* 24 (1), 28-33.

Erazo-Pesántez, M. (2007). *Comunicación, divulgación y periodismo de la ciencia. Una necesidad imprescindible para Iberoamérica*. Quito: Planeta.

Erden, F.T., y Sönmez, S. (2011). Study of Turkish preschool teachers' attitudes toward science teaching. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1149-1168.

Escobar, J. M. (2017). El problema del déficit en los modelos democráticos de divulgación científica. *Arbor*, 193(785), e407. URL: <https://doi.org/10.3989/arbor.2017.785n3012>

Escobar-Ortiz, J.M. y Rincón-Álvarez, A. (2019). La divulgación científica y sus modelos comunicativos: algunas reflexiones teóricas para la enseñanza de las ciencias. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales*, 10(1) pp.135-154
URL: <https://doi.org/10.21501/22161201.3062>

Espinosa Santos, V. (2010). *Difusión y divulgación de la investigación*

científica. *Idesia (Arica)*, 28(3), 5-6. URL: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292010000300001>

Estrada, J. C. O. (2011). Educación y Divulgación de la Ciencia: Tendiendo puentes hacia la alfabetización científica. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 8(2), 137-148.

Falk, J. H., y Dierking, L. D. (2010). School is not where most Americans learn most of their science. *American Scientist*, 98(6), 486.

Falk, J. H., y Dierking, L. D. (2012). Lifelong science learning for adults: The role of free-choice experiences. *Second international handbook of science education*, 1063-1079.

FECYT. (2012). Encuesta de percepción social de la ciencia. Consultado en https://icono.fecyt.es/informesypublicaciones/Documents/Percepci%C3%B3n%20Social_2012.pdf

FECYT. (2018). EPSCYT (Encuesta de Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología) (2018): “Informe de resultados sobre la encuesta de Percepción Social de la Ciencia. IX FECYT”. En: FECYT, 20 de febrero. Disponible en: <https://bit.ly/3pOURvt> [02/02/2021].

FECYT. (2022) Encuesta de percepción social de la ciencia. Consultado en: <https://doi.org/10.58121/msx6-zd63>

Feynman, R. (1960). There's plenty of room at the bottom. *engineering and science and science*. *Sci. Res*, 3(23), 22-36.

Fierro, L. H., y Alba Robayo, V. (1972). Análisis de contenido del programa radial

agropecuario (No. Folleto 3119).

Fishbein, M. (1963). An investigation of relationships between beliefs about an object and the attitude toward that object. *Human Relations*, 16, 233-240.

Fishbein, M. (1967).

Fishbein, M. (1967). Attitude and the prediction of behavior. *Readings in attitude theory and measurement*.

Fishbein, M., y Ajzen, I. (1975). *Belief, attitude, intention and behaviour (An introduction to theory and research)*. Nueva York: Addison-Wesley.

Fishbein, M., y Ajzen, I. (1980). *Understanding attitude and predicting social behaviour*. Nueva York: Prentice Hall.

Friedman, A. (2008). Framework for evaluating impacts of informal science education projects. Report from a National Science Foundation workshop. [S. l.]: National Science Foundation/Multimedia Research, 2008. On-line. Disponible en: http://insci.org/resources/Eval_Framework.pdf.

Franco-Mariscal, A.J. (2015) Competencias científicas en la enseñanza y el aprendizaje por investigación. Un estudio de caso sobre corrosión de metales en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias* 32(2), 693-695. DOI: 10.5565/rev/ensciencias.1410

Franks, S., Joubert, M., Wells, R., y van Zuydam, L. (2022). Beyond Cheerleading: Navigating the Boundaries of Science Journalism in South Africa. *Journalism Studies*, 1-20.

Fundación "La Caixa", FECYT y Everis. (2015). ¿Cómo podemos estimular una mente

científica? <https://www.fecyt.es/es/publicacion/como-podemos-estimular-una-mente-cientifica>

Fundora, Y. S., y García, Y. R. (2021). La divulgación científica: una herramienta eficaz en centros de investigación. *Bibliotecas. Anales de investigación*, 7, 105-108.

Furman, M. (2008). Ciencias naturales en la escuela primaria: colocando las piedras fundamentales del pensamiento científico. IV Foro Lationamericano de Educación, *Aprender y Enseñar Ciencias: desafíos, estrategias y oportunidades*.

Galagovsky, L., y Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 19(2), 231-242.

Gallardo, S. (2010). Profesionalización del Periodismo Científico. Avances y desafíos. ¿Qué se espera hoy de un periodista científico? *Periodismo y Comunicación Científica en América Latina. Estado actual y desafíos*, 33-40.

Disponible en:

http://www.mincyt.gov.ar/multimedia/archivo/archivos/Periodismo_y_comunicacion_cientifica_en_America_Latina.pdf

Gamo-Aranda, J., y Tutor-Sánchez, J. D. (2015). Enseñar nanotecnología a través de nuestros antepasados. *MOMENTO*, (50), 56-67.

García Hom, A. y Moles Plaza, R. J. (2013). "Gestionando entornos sociotécnicos complejos: la gobernanza del riesgo en las nanotecnologías". *Mundo Nano. Revista interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 6(10), 86-100. Recuperado de <http://www.mundonano.unam.mx/pdfs/mundonano10.pdf>.

García Jara, F., Maestre Oria, C., y Gaytán Guía, S. P. (2017). ¿Existe un Curriculum

divulgador? Sensibilización del alumnado de las titulaciones de Biología y Bioquímica ante la importancia social de la comunicación en Ciencia. Enseñanza de las ciencias, (Extra), 1795-1800. URL: <https://ddd.uab.cat/record/184348>

García-Ruiz, R., y Zubizarreta, A.C. (2012) La formación permanente del profesorado basada en competencias. Estudio exploratorio de la percepción del profesorado de Educación Infantil y Primaria. *Educatio Siglo XXI: Revista de la Facultad de Educación* 30, 297-322.

Gastañares, I. U., Larizgoitia, X. A., y Garcia, J. (2012). La definición en textos orales de divulgación científica: forma lingüística y estrategias comunicativas. *Revista española de lingüística aplicada*, (25), 245-264.

Gaytán Guía, S. P. (2016). Transversalidad de la Divulgación Científica: Importancia de la incorporación de las competencias en comunicación en los currícula científicos. Ghinaglia, D.(2009). Taller de diseño editorial, entre cordeles y tipos. Recuperado de http://www.palermo.edu/dyc/encuentro-virtual/pdf/ghinaglia_daniel.pdf

George, R. (2006). A cross-domain analysis of change in students' attitudes toward science and attitudes about the utility of science. *International Journal of Science Education*, 28(6), 571-589. URL: <https://doi.org/10.1080/09500690500338755>

Gerber, B. L., Cavallo, A. M., y Marek, E. A. (2001). Relationships among informal learning environments, teaching procedures and scientific reasoning ability. *International Journal of Science Education*, 23(5), 535-549.

Gil, J. (2014) Metodologías didácticas empleadas en las clases de ciencias y su contribución a la explicación del rendimiento. *Revista de Educación* 366, 190-214. DOI: 10.4438/1988-592X-RE-2014-366-271

Giménez, M., y Cabeza, V. S. (2017). Cápsulas de nanotecnología. Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales, (87), 77-79.

Gispert, I., Puntos, V., y Gonzalez, E. (2020). Nanocolorea, en tiempos del coronavirus 2. Nanocitec, 2(9).

Gisbert Cervera, M., Espuny Vidal, C. y González Martínez, J. (2011). Incotic: una herramienta para la autoevaluación diagnóstica de la competencia digital en la universidad. Profesorado: Revista de curriculum y formación del profesorado.

Glenn J. C., Florescu E., y Millennium Project Team (2016). Future Work/Technology 2050 Real-Time Delphi Study: Excerpt from the 2015-16 State of the Future Report. Journal of Socialomics, 5(3), 1000171

Gómez-Ferri, J.; Cózar Escalante, J.M. y Llopis-Goig, R. (2014). "La comunicación pública de ámbitos científicos y tecnológicos emergentes. Problemas y retos en el caso de la nanotecnología". Arbor, 190 (766): a123. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2014.766n2015>

Gómez-Lucía, E., Logue, C.H., Szyndel, M.S., & Lavigne, R. (2019). Innovative teaching in the digital age goes viral. Nature Microbiology, 4(4), 562-564. URL: <http://doi.org/10.1038/s41564-019-0389-6>

Gómez B., Santos A. (2012) Competencias para la inserción laboral: Guía del profesorado. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (España).

González, J. M. N., Ríos, C. P. A., McLean, K., Wagensberg, J., Merzagora, M., Massarani, L., ... y Carranza, L. M. R. (2021). Instrucciones para armar museos de ciencias. Editorial Universidad de Guadalajara.

González-Arcaide G., Valderrama-Zurián J.C. y Aleixandre-Benavent R. (2009). La investigación sobre la divulgación de la ciencia en España: situación actual y retos para el futuro. *Arbor*, CLXXXV(738), 861-869.

González, R., Serrano, L., Roca, D. (2020). Perfil de las youtubers españolas dedicadas a la divulgación científica. En *Fórmulas comunicativas de vanguardia*. Editorial: Pirámide.

Grosso Mesa, J. Ciencia en televisión: Las estrategias divulgativas del programa Redes 2.0 de Eduard Punset (TVE, 2008-2013). Granada: Universidad de Granada, 2017. [<http://hdl.handle.net/10481/47521>]

Guba E. G. (1990). The alternative paradigm dialog. En E.G. Guba (Ed) *The paradigm dialog*. Newbury Park. Sage.

Guisasola, J. Y Morentin, M. (2007). ¿Qué papel tienen las visitas escolares a los museos de ciencias en el aprendizaje de las Ciencias? Una revisión de las investigaciones. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas* 25(3) 401-414. 10.5565/rev/ensciencias.3704.

Gutiérrez-García, C., Pérez-Pueyo, Á., Pérez-Gutiérrez, M., y Palacios-Picos, A. (2011) Percepciones de profesores y alumnos sobre la enseñanza, evaluación y desarrollo de competencias en estudios universitarios de formación de profesorado. *Cultura y Educación* 23(4), 499-514. DOI: <https://doi.org/10.1174/113564011798392451>

Guzey, S. S., Moore, T. J., Harwell, M., y Moreno, M. (2016). STEM integration in middle school life science: student learning and attitudes. *Journal of Science Education and Technology*, 25(4), 550-560. URL: <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9612-x>

Hacieminoglu, E. (2016). Elementary school students' attitude toward science and related variables. *International Journal of Environmental & Science Education*, 11(2), 35-52. URL: <https://doi.org/10.12973/ijese.2016.288a>

Hernández, B. M., Sánchez, J. I. M., Albert, G. L., Pujante, J. A. C., y López, J. A. F. (2012). Divulgación de la física y de la química a las personas mayores a través de un curso de introducción a la investigación científica: una experiencia en la Universidad Politécnica de Cartagena. *ENSEÑANZA Y DIVULGACIÓN*, 85.

Hernando, M. C. (2006). Objetivos y funciones de la divulgación científica. *Manual formativo de ACTA*, (40), 99-106.

Herrera, M. M. (2006). La educación no formal en España. *Revista de estudios de juventud*, 74, 11- 29.

Homs, M. I. P. (2001). Orígenes y evolución del concepto de educación no formal. *Revista Española de Pedagogía*, 59(220), 525–544. URL: <http://www.jstor.org/stable/23765896>

Hsiao-Ping, Y.; y Enyi, J. (2020) Integrating Nanotechnology in the Science Curriculum for Elementary High-Ability Students in Taiwan: Evidenced-Based Lessons. *Roeper Review*, 42(1), 38-48. <https://doi.org/10.1080/02783193.2019.1690078>

Huang, H., Pavel, I., Higgins, S., y Deibel, J. (2016). Experimental Nanomaterials and Nanoscience: Synthesis, Characterization, and Applications—Teaching Nanotechnology Through an Interdisciplinary Laboratory Course. *Journal of Nano Education*, 8(1), 52–62. URL: <https://doi.org/10.1166/jne.2016.1084>

Huang, NT. N., Chiu, L.J., y Hong, J.C. (2016). Relationship among students' problem-solving attitude, perceived value, behavioral attitude, and intention to participate in a science and technology contest. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(8), 1419-1435. URL: <https://doi.org/10.1007/s10763-015-9665-y>

Huang, W., Ling, S., Li, C., Omenetto, F. G., y Kaplan, D. L. (2018). Silkworm silk-based materials and devices generated using bio-nanotechnology. *Chemical Society Reviews*, 47(17), 6486-6504.

Hurtado, M. C., Laspra, B., y Cerezo, J. A. L. (2017). Apropiación social de la ciencia en España. *Percepción social de la Ciencia y la Tecnología 2016*, 19.

Hvidtfelt Nielsen, K. (2010). More than "mountain guides" of science: a questionnaire survey of professional science communicators in Denmark. *Journal of Science Communication*, 9(2), A02. Disponible en: <http://jcom.sissa.it/archive/09/02/Jcom0902%282010%29A02>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Inegi. (2013) Diseño de Cuestionarios. Recuperado de: http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/metodologias/varios/Dise%C3%B1o_Cuest.pdf

Jackman, J. A., Cho, D.-J., Lee, J., Chen, J. M., Besenbacher, F., Bonnell, D. A., ... Cho, N.-J. (2016). Nanotechnology Education for the Global World: Training the Leaders of Tomorrow. *ACS Nano*, 10(6), 5595–5599. URL: <https://doi.org/10.1021/acsnano.6b03872>

Jaime Lahoz, J. (2021). El Mundo secreto de Nanoelia. Gunis Media S.L.

Jarvis, T., y Pell, A. (2005). Factors influencing elementary school children's attitudes toward science before, during, and after a visit to the UK National Space Centre. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 53-83. URL: <https://doi.org/10.1002/tea.20045>

Jefferies, T., y Ord, J. (Eds.). (2017). *Rethinking outdoor, experiential and informal education: Beyond the confines*. Routledge.

Jensen, E. (2014). The problems with science communication evaluation. *Journal of Science Communication*, 13, 1-3. Recuperado de: https://jcom.sissa.it/archive/13/01/JCOM_1301_2014_C04.

Jiménez, M. y Sanmartí, N. (1997). ¿Qué ciencia enseñar: objetivos y contenidos en la educación secundaria? En Del Carmen, L. (coord.). *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. Cuadernos de Formación del Profesorado, nº 9, Barcelona: ICE de la Universidad de Barcelona y Horsori Editorial.

Jiménez Tejada, M. D. P., Romero López, M. C., Almagro Fernández, A., González García, F., y Vílchez González, J. M. (2016). Spanish teaching students' attitudes towards teaching science at the pre-school level. *SHS Web of Conferences ERPA 2015*.

Johnston, A. N., Barton, M. J., Williams-Pritchard, G. A., y Todorovic, M. (2018). Youtube for millennial nursing students; using internet technology to support student engagement with bioscience. *Nurse education in practice*, 31, 151-155. URL: <https://doi.org/10.1016/j.nepr.2018.06.002>

Jorba, J., Gómez, I., Prat, Á., y Benejam, P. (2000). *Hablar y escribir para aprender*:

uso de la lengua en situación de enseñanza-aprendizaje desde las áreas curriculares. (No Title).

Kahru, A., y Dubourguier, H. C. (2010). From ecotoxicology to nanoecotoxicology. *Toxicology*, 269(2-3), 105-119.

Khishfe, R., y Boujaoude, S. (2016). Lebanese students' conceptions of and attitudes towards science and related careers based on their gender and religious affiliations. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14, 145-167. URL: <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9587-0>

Kotler, P. y Lane K. (2006) Dirección de marketing. Madrid, España: Pearson Prentice Hall.

Körbes, C., y Invernizzi, N. (2010). Tecnologia ea difusão da ideia de progresso da ciência. VIII Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y Tecnología: Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://www.esocite2010.escyt.org>.

Kreimer, P., Levin, L., y Jensen, P. (2011). Popularization by Argentine researchers: the activities and motivations of CONICET scientists. *Public Understanding of Science*, 20(1), 37-47.

Laherto, A. (2010). Interdisciplinary aspects of nanoscience and nanotechnology for informal education. *Contemporary science education research: teaching*, 105.

Lazcano-Pena, D., Viedma, G.C. y Alcaino, T.V. (2019). Comunicación de la Ciencia desde la Mirada de los Investigadores Universitarios: entre el Indicador y la Vocación. *Formación universitaria*, 12(6), 27-40. URL: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062019000600027>

Lewenstein, B. V. (2003). Models of public communication of science and technology.

Lewenstein, B. (2006). Models of Public Communication of Science and Technology. URL: <https://cutt.ly/Ub8enAE>

Evaluación de talleristas de ciencia: propuesta desde la educación y la comunicación científica

Lincoln Y.S.; Guba E.G. (1985): Naturalistic Inquiry. London: Sage

Linn, M.C., Davis, E.A. y Bell, P. (2004) Internet Environments for Science Education. Mahwah, Nueva Jersey: Erlbaum.

López Alonso, S. R., & Santillán-García, A. (2019). Las redes sociales son necesarias para la difusión de la ciencia pero no suficientes. *Index de Enfermería*, 28(4), 171-173.

López-Borrull, A. (2020). Fake news e infodemia científica durante la Covid-19, ¿dos caras de la misma crisis informacional?. *Anuario ThinkEPI*, 14, 1-8. URL: <https://doi.org/10.3145/thinkepi.2020.e14e07>

López-Borrull, A. y Ollé, C. (2020). Curación de contenidos científicos en tiempos de fake science y Covid-19: una aproximación entre las ciencias de la información y la comunicación. En: *Comunicación y diversidad. Selección de comunicaciones del VII Congreso Internacional de la Asociación Española de Investigación de la Comunicación (AE-IC)*. Valencia, España, 28-30 de octubre, 281-289. EPI SL. ISBN: 978 84 120239 5 4 URL: <https://doi.org/10.3145/AE-IC-epi.2020.e16>

López Ruiz, J. A. (2021). Evaluación de la Noche Europea de los Investigadores e

Investigadoras 2020.

López Ruiz, J. A., y Barbado Salmerón, T. (2018). Evaluación de impacto, clave de futuras acciones: el caso de La Noche Europea de los Investigadores de Madrid.

Lozano, M. (2008). El nuevo contrato social sobre la ciencia: Retos para la comunicación de la ciencia en América Latina. *Razón y Palabra*, 13(65). Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199520724009>

LUCAS, A.M. (1991). «Info-tainment» and informal sources for learning science. *International Journal of Science Education*, 13(5), 495-504.

Luque, P. A. (1997). Educación no formal. Un acercamiento a otras instituciones educativas. *Pedagogía social: Revista Interuniversitaria*, 15-16, 313-320.

Lynch, J., Bennett, D., Luntz, A., Toy, C., y Van-Benschoten, E. (2014). Bridging science and journalism: Identifying the role of public relations in the construction and circulation of stem cell research among laypeople. *Science Communication*, 36(4), 479-501 URL: <https://doi.org/10.1177%2F1075547014533661>

Macías-Nestor, A. P., Reynoso Haynes, E., y Torreblanca-Navarro, O. (2020). Formación de mediadores en los museos y centros de ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. *Journal of Science Communication, América Latina*, 3(2), A03.

Magaña, P. (2008). La evaluación de las actividades de divulgación en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. En Lozano, M. y Sánchez, C. (Coords.), *Evaluando la Comunicación de la ciencia: una perspectiva latinoamericana. Memorias de las Jornadas Iberoamericanas sobre Criterios de Evaluación de la Comunicación de la Ciencia* 131-138. Cartagena, Colombia.

Recuperado de: <http://www.redpop.org/wp-content/uploads/2015/06/Evaluandola-comunicacin-de-la-ciencia.pdf>.

Mandrikas, A., Michailidi, E. y Stavrou, D. (2020). Teaching nanotechnology in primary education. *Research in Science & Technological Education*, 38(4), 377-395. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1631783>

Manterola, C., Quiroz, G., Salazar, P., y García, N. (2019). Metodología de los tipos y diseños de estudio más frecuentemente utilizados en investigación clínica. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 30(1), 36–49.

Marandino, M., Almeida, A. M., y Valente, M. E. Á. (2009). *Museu: lugar do público*.

Marbà-Tallada, A., y Márquez Bargalló, C. (2010). ¿Qué opinan los estudiantes de las clases de ciencias? Un estudio transversal de sexto de primaria a cuarto de ESO. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(1), 19-30. URL: <https://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v28n1/02124521v28n1p19.pdf>

Martín-Sempere, M. J., Garzón-García, B., y Rey-Rocha, J. (2008). Scientists' motivation to communicate science and technology to the public: surveying participants at the Madrid Science Fair. *Public Understanding of Science*, 17(3), 349-367.

Massey, B. L., y Haas, T. (2002). Does making journalism more public make a difference? A critical review of evaluative research on public journalism. *Journalism & Mass Communication Quarterly*, 79(3), 559-586.

Mateo, J. (1997). *La investigación ex-post-facto*. Colección temas universitarios básicos: Psicopedagogía. Barcelona: EDIUOC

Matute, E. (2012). *Tendencias actuales de las neurociencias cognitivas*. Editorial El

Mayer R.E. y R. Moreno, 1998. Split-attention effect in multimedia learning: Evidence for dual processing systems in working memory. *Journal of educational psychology* 90(2), 312–320.

Mazas, B., y Bravo Torija, B. (2018). Actitudes hacia la ciencia del profesorado en formación de educación infantil y educación primaria (No. ART-2018-107215).

Mazzitelli, G., Arnone, S., Bramato, M., Capra, I., Ciocca, G., Della Ceca, A., ... y Spagnoli, F. (2019). 12 Years of Data, Results and Experiences in the European Researchers' Night Project. arXiv preprint arXiv:1902.03893.

Medved, M. I., y Oatley, K. (2000). Memories and scientific literacy: remembering exhibits from a science centre. *International Journal of Science Education*, 22(10), 1117-1132.

Meinardi, E., González Galli, L., Revel Chion, A., y Plaza, M. V. (2010). Educar en ciencias. Paidós. Buenos Aires. Argentina. Capítulo, 1, 15-39.

Meinguer Ledesma, J. (2019). La comunicación de la nanotecnología del carbono a través del análisis crítico de textos informales en la educación química preuniversitaria. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 12(22), 1-33.
<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2019.22.61953>

Melchor-Alemán, M.A., Mesta-Torres, L. y Martel-Estrada, S.A. (2016). Aplicaciones de nanopartículas en textiles para el diseño de interiores. *Espacio I+D: Innovación más Desarrollo*, 5(10). URL: <https://doi.org/10.31644/IMASD.10.2016.a07>

Méndez-Santos, I. E., Carvajal-Hernández, B. M., y Marrero, D. R. (2018). Consideraciones básicas sobre la formación por competencias del educador ambiental. *Revista luna azul*, (46), 350-368. URL: <https://doi.org/10.17151/luaz.2018.46.18>

Mendoza, E. D. C. (2019). Divulgación científica: enseñanza y evaluación. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 20 (4), 1-12.
<http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n4.a3>

Meneses-Fernández, D., y Martín-Gutiérrez, J. (2015). ¿Tienen razón los investigadores al quejarse de la información periodística sobre ciencias? Experiencias con alumnos de Periodismo y científicos. *Revista Española de Documentación Científica*, 38(4), e104. URL: <https://doi.org/10.3989/redc.2015.4.1252>

Mestres, M. G., García, A. M., y Romero, M. D. I. (2012). La percepción social de los principales divulgadores españoles de la ciencia/Social perception of the main Spanish popular-science communicators. *Estudios sobre el mensaje periodístico*, 18(2), 757.

Michalovich, A., y Hershkovitz, A. (2020). Assessing YouTube science news' credibility: The impact of web-search on the role of video, source, and user attributes. *Public Understanding of Science*, 29(4), 376-391. URL: <https://doi.org/10.1177/0963662520905466>

Mihladiz, G., Duran, M., y Doğan, A. (2011). Examining primary school students' attitudes towards science in terms of gender, class level and income level. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 15, 2582-2588. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.04.150>

Molina, M., Carriazo, J., y Casas, J. (2013). Estudio transversal de las actitudes hacia la ciencia en estudiantes de grados quinto a undécimo. Adaptación y aplicación de un instrumento para valorar actitudes. *Tecné, Episteme y Didaxis*, (33), 103-122.

URL: <https://doi.org/10.17227/01213814.33ted103.122>

Mora, F. (2013). *Neuroeducación. Solo se puede aprender aquello que se ama*. España: Alianza Editorial

Morales, P. (2011). El Análisis Factorial en la construcción e interpretación de tests, escalas y cuestionarios. Madrid: Universidad Pontificia Comillas, 80.

Moreira, M. A. (2002). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em ensino de ciências*, 7(1), 7-29.

Moreira, M. A. (2012). ¿Al final, qué es aprendizaje significativo? *Qurrriculum: Revista de Teoría, Investigación y Práctica Educativa*, Nº 25 (marzo 2012), p. 29-56. Recuperado en <https://bit.ly/31TxvcF>

Mosqueira, G. (2005). Una propuesta sobre la evaluación de los divulgadores científicos. *El muégano divulgador*, 30, 9. <https://cutt.ly/8b8unfy>.

Mulder, H. A., y Goedhart, M. J. (2009). Book Review: Holliman, R., Whitelegg, E., Scanlon, E., Smidt, S., y Thomas, J.(Eds.).(2009). *Investigating science communication in the Information Age: Implications for public engagement and popular media* (Vol. 1). Oxford: Oxford University Press.

Muñoz, J. P., y Salillas, E. C. (2018). Inmersión en el mundo de la nano-ciencia a través de una experiencia de indagación guiada con alumnos de Educación Secundaria. *ReiDoCrea: Revista electrónica de investigación y docencia creativa*, (7), 376-387.

Murriello, S. E. (2017). Museos de ciencia y tecnología: ¿Problematizar o divertir?.

Murriello, S., Contier, D., y Knobel, M. (2006). Challenges of an exhibit on nanoscience and nanotechnology. *Journal of Science Communication*, 5(4), A01.

Murriello, S., Contier, D., y Knobel, M. (2009). NanoAventura: An interactive exhibition on nanoscience and nanotechnology as an educational tool. *Journal of Nano Education*, 1(1), 96-105.

Nandiyanto, A. B. D.; Asyahidda, F. N.; Danuwijaya, A. A.; Abdullah, A. G.; Amelia, N. I.A.; Hudha, M. N.; y Aziz, M. (2018). Teaching “nanotechnology” for elementary students with deaf and hard of hearing. *Journal of Engineering Science and Technology*, 13(5), 1352-1363.

Nathan, M.J., Koedinger, K.R. y Alibali, M.W. (2001). Expert blind spot: When content knowledge eclipses pedagogical content knowledge. In *Proceeding of the third international conference on cognitive science* (Vol. 644648).

Navarro Zamora, L. (2021). La Comunicación de la Ciencia en la pandemia por COVID-19 y sus divulgadores. *Emerging Trends in Education*, 4(7). URL: <https://doi.org/10.19136/etie.a4n7.4456>

Navarro, D. H. T., y Merino, N. S. (2021). Canales digitales de consulta social y percepción pública de la ciencia sobre la covid-19 en México. *Las redes de la comunicación. Estudios multidisciplinares actuales.*, 18.

Nortes, R., y de Pro Bueno, A. (2010). Actitudes hacia las ciencias de los alumnos de Educación Primaria de la Región de Murcia. *II Jornadas de los Máster en Investigación e Innovación en Educación Infantil y Educación Primaria*, 441-464.

Recuperado de: https://www.um.es/c/document_library/get_file?uuid=d3208f27-20f1-4da5-af3a-975da73e1853&groupId=299436

Novo, M. S., y Borges, E. L. (2010). Nanotecnologia e as constituições de gênero. In VIII Congresso Iberoamericano de Ciência, Tecnologia e Gênero: Curitiba, Brasil. Recuperado de http://files.dirppg.ct.utfpr.edu.br/ppgte/eventos/cictg/conteudo_cd/E11_Nanotecnologia.

Olivé, L. (2003). Por un nuevo contrato social sobre la ciencia y la tecnología. *Ciencia y Desarrollo* 172, 7-12.

Oliveira dos Santos, L., y Barbosa Müller, K. (2022). Caracterização do atual cenário da divulgação científica brasileira em mídias digitais a partir do levantamento dos perfis de divulgadores científicos. *Journal of Science Communication, América Latina*, 5(2), A01.

Oppliger, L. V., Nuñez, P., y Gelcich, S. (2019). Ferias Científicas como Escenarios de Motivación e Interés por la Ciencia en Estudiantes Chilenos de Educación Media de la Región Metropolitana. *Información tecnológica*, 30(6), 289-300.

Ortega Carrasco, R. J., Veloso Toledo, R. D., y Hansen, O. S. (2018). Percepción y actitudes hacia la investigación científica. *Academo (Asunción)*, 5(2), 101-109.

Ortiz-Andrade B. M., Rivera-Rondón V., Díaz-Vázquez L. M.(2019) El Nanocirco: un diseño interdisciplinario para la divulgación y enseñanza de la nanociencia y la nanotecnología. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*16 (2), 2301. URL: [10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2301](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2301)

Pacheco, M. (2007). Educación no Formal. Concepto básico en Educación Ambiental. Gabinete de educación ambiental y divulgación de la ciencia.

Recuperado de <http://comenio.files.wordpress.com/2007/08/noformal.pdf>.

Panissal, N., y Brossais, E. (2012). Citizenship education to nanotechnologies: teaching knowledge about nanotechnologies and educating for responsible citizenship. *J SSE-Journal of Social Science Education*.

Peña, G. D., y Casas, I. (2007). Nuevas tendencias en el diseño de cuestionarios. Como Internet cambió la fisonomía del cuestionario auto-administrado. In 2do. Congreso de Investigadores de Marketing y Opinión. SAIMO. Bs. As.: Complejo La Plaza (Vol. 10).

Pérez Manzano, A., y de Pro Bueno, A. (2018). Algunos datos sobre la visión de los niños y de las niñas sobre las ciencias y del trabajo científico. *iQual. Revista de Género e Igualdad*, 1, 18-31. URL: <https://doi:10.6018/iQual.306091>

Pérez-Franco, D., de Pro-Bueno, A. J., y Pérez-Manzano, A. (2018). Actitudes ambientales al final de la ESO. Un estudio diagnóstico con alumnos de Secundaria de la Región de Murcia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(3), 1-17. URL: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.350

Pérez-Martín, J. M. (2018). Un viaje en el tiempo por la alfabetización científica en España. *Revista de Didácticas Específicas*, 18, 144-166.

Perrault, S. (2013). *Communicating popular science: From deficit to democracy*. Springer.

Peters, H.P. (2013). Gap between science and media revisited: Scientists as public communicators. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(3), 14102-14109. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.1212745110>

Pinto, G. Á., Flores, L., y Martínez, R. (2020). Museos interactivos de ciencia y la alfabetización científica: rol del Museo del Meteorito. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 4(2), 63-72.

Pons, J. M. (2019). El perfil de los educadores ambientales en el proceso de evaluación y acreditación de centros de educación y cultura ambiental. [Ponencia] Congreso Nacional de Educación Ambiental para la Sustentabilidad. URL: <https://cutt.ly/ub8ovqs>

Red Divulga (Grupo de Trabajo de Divulgación y Cultura Científica de Crue-I+D+i) en colaboración con la FECYT. (2018). Guía de valoración de la actividad de divulgación científica del personal académico e investigador. Madrid, noviembre, 2018.

Regueira, U., Alonso-Ferreiro, A., y Da-Vila, S. (2020). La mujer en YouTube: Representación y participación a través de la técnica Web Scraping. *Comunicar*, 28(63), 31-40. URL: <https://doi.org/10.3916/C63-2020-03>

Reibold, M., Paufler, P., Levin, A. A., Kochmann, W., Pätzke, N., y Meyer, D. C. (2006). Carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre. *Nature*, 444(7117), 286-286.

Relinque, C. S., Moral, G. Del, y González, M. T. (2013). Consejos prácticos para escribir un artículo cualitativo publicable en Psicología. *Psychosocial Intervention*, 22(1), 71-79.

Rennie, L., y Stocklmayer, S. M. (2003). The communication of science and technology: Past, present and future agendas. *International Journal of Science Education*, 25(6), 759-773.

Revuelta, G. (2010). DG Research Monitoring Policy and Research Activities on

Science in Society in Europe (MASIS) National Report, SPAIN. October 2010.

http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/monitoringpolicy-research-activities-on-sis_en.pdf

Reynoso Haynes, E. (2008a). La comunicación de la ciencia y la evaluación de programas para formar comunicadores. Coordinación de las Jornadas: Julia Tagüeña Parga Coordinación académica: Carmen Sánchez-Mora y Mónica Lozano Agradecimientos, 193.

Reynoso-Haynes, E. (2008b). La evaluación de los comunicadores de la ciencia: una perspectiva mexicana. *Razón y Palabra*, (65).

Reynoso Haynes, E. (2012). La cultura científica en los museos en el marco de la educación informal.

Reynoso Haynes, E. R. (2014). Hacia dónde van los museos de ciencia: reflexiones y propuestas.

Ribeiro, A. V, de Souza-Filho, M. P., y Bruno-Alfonso, A. (2016). Formación en nanotecnología para la educación secundaria: acciones Y perspectivas del proyecto lifenano-Ifsp. *Revista de Física -Momento-*, (51E), 17–31. Recuperado de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=116755338&lang=es&site=ehost-live>

Rix, C., y McSorley, J. (1999). An investigation into the role that school-based interactive science centres may play in the education of primary-aged children. *International Journal of Science Education*, 21(6), 577-593.

Roche, J., y O'Farrelly, C. (2018). European Researchers Night as a Learning

Environment.

Roche, J., Davis, N., O'Boyle, S., Courtney, C., y O'Farrelly, C. (2017). Public perceptions of European research: an evaluation of European Researchers' Night in Ireland. *International Journal of Science Education, Part B*, 7(4), 374-391.

Roco M. C. (2011) The long view of nanotechnology development: The National Nanotechnology Initiative at 10 years. *Journal of Nanoparticle Research*, 13, 427-445.

Rodríguez Pinto, D. D., y Ávila Bernal, 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.

Rogers, E. M., y Svenning, L. (1969). Modernization among peasants: The impact of communication. *Modernization among peasants: the impact of communication*.

Rojas-Caballero, G. B. (2017). El obstáculo epistemológico y el pensamiento crítico. *Revista Internacional de Investigación en Ciencias Sociales*, 13(2), 305-320.

Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 286-299.

Romero, M., y Quesada, A. (2014) Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 32(1), 101-115. DOI: 10.5565/rev/ensciencias.433 ISS

Romero, L. J. T., y Traslaviña, L. B. A. (2020). Diseño de un blog para la divulgación de nanociencia y nanotecnología. *Revista Digital Universitaria*, 21(6).

Rosales Sánchez, E. M., Rodríguez Ortega, P. G., y Romero Ariza, Marta (2020) Conocimiento, demanda cognitiva y contextos en la evaluación de la alfabetización científica en PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 17(2), 2302. URL: [10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i2.2302](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i2.2302)

Rosen, C., Guenther, L., y Froehlich, K. (2016). The question of newsworthiness: A cross-comparison among science journalists' selection criteria in Argentina, France and Germany. *Science Communication*, 38(3), 328-355. URL: <https://doi.org/10.1177/1075547016645585>

Ruano, C., y Hernández, Y. (2016). Nanobox: un material educativo en nanomateriales que promueve la creatividad científica. *Revista de Física - Momento*, 51(E), 32-45. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/68377/1/55979-284922-1-PB.pdf>

Rubiano, C. (2015). Desarrollo de material educativo en nanomateriales como promotor de la creatividad científica en estudiantes de media secundaria. Universidad de los Andes.

Rubiano, O. (2013). Construcción de una unidad didáctica para la enseñanza de los conceptos y términos más usados en nanociencia a través de indagación y la investigación [tesis de grado, mecen]. Universidad Nacional de Colombia.

Ruíz, H. (2021). *¿Cómo aprendemos?: Una aproximación científica al aprendizaje y la enseñanza*. Barcelona: Graó.

Sacks, O. (2000). *Sinopsis de Historias de la ciencia y del olvido*.

Sánchez Mora, C., y De Francisco, G. (2013). *Educación no formal. La divulgación de*

la ciencia en México desde distintos campos de acción: Visiones, retos y oportunidades, 39-60.

Sánchez-Mora C. y Macías-Nestor A. (2019) El papel de la comunicación pública de la ciencia en la cultura científica: acercamientos a su evaluación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 16(1), 3-13.

10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1103

Sánchez-Mora, A. M. (2000). *La divulgación de la ciencia como literatura*. México, D. F.: UNAM.

Sánchez-Mora, M.C. (2009). La enseñanza de la nanociencia: un acercamiento mediante imágenes. *Revista Colombiana de Educación*, 56, 60-78.

Sánchez-Mora, M. C., y Tagüeña Parga, 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.

Satterfield, T., Kandlikar, M., Beaudrie, C. E., Conti, J., y Herr Harthorn, B. (2009). Anticipating the perceived risk of nanotechnologies. *Nature nanotechnology*, 4(11), 752-758.

Sayago, Sebastián. (2014). El análisis del discurso como técnica de investigación cualitativa y cuantitativa en las ciencias sociales. *Cinta de moebio*, (49), -10. URL: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-554X2014000100001>

Schoerning, E. (2018). A no-conflict approach to informal science education increases *Journal of Science Communication, community science literacy and engagement* 17(3), 1-16. URL: 10.22323/2.17030205

Schroeder, C., Scott, T., Tolson, H., Huang, T. y Lee, Y. (2007) A Meta- Analysis of

National Research: Effects of Teaching Strategies on Student Achievement in Science in the United States. *Journal of Research in Science Teaching* 44(10), 1436-1460. Doi: 10.1002/tea.20212

Serena, P. A. (2009). La implantación de la nanotecnología en España: muchas luces y algunas sombras. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 2(2), 74-90.

Serena, P. A. (2013a). La Nanociencia y la Nanotecnología: en la frontera de lo pequeño. *Revista Española de Física*, 27(1), 29-33.

Serena, P. (2013b). Acercando la nanotecnología a la sociedad: la exposición un paseo por el nanomundo. *Revista Digital Universitaria*, 14(4). Recuperado de <http://www.revista.unam.mx/vol.14/num4/art29/index.html>

Serena, P. A., y Tutor, J. D. (2011). La divulgación y la formación de la nanociencia y la nanotecnología en España: un largo camino por delante. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 4(2), 48-58. Recuperado de <http://www.mundonano.unam.mx/pdfs/mundonano7.pdf>

Serena, P., Giraldo, J., Takeuchi, N., y Tutor, J. (2014). Guía Didáctica para la enseñanza de la Nanotecnología en Educación Secundaria (Red NANODYF-CYTED, Ed.). Recuperado de: https://www.icmm.csic.es/es/divulgacion/documentos/LIBRO_GUIA_DIDACTICA.pdf

Sevilla, Y., Solano Pinto, N., Garrido, D., y Fernández-César, R. (2020). Acciones educativas innovadoras para el día internacional de la mujer y la niña en la ciencia infantil y primaria.

Shatkin, J., (2008). *Nanotechnology: Health and Environmental Risks (Perspectives in Nanotechnology)*, CRC Press, Boca Raton. 2008.

Sierra Bravo. (1996). *Técnicas de investigación social: Ejercicios y problemas*. Madrid: Paraninfo, 1982; *Análisis estadístico multivariable: Teoría y ejercicios*. Madrid: Paraninfo, 1994; *Tesis doctorales y trabajo de investigación científica: Metodología general de su elaboración y documentación*. Madrid.

Silpa R., Shoma J., Sumod, U.S. y Sabitha, M. (2012). *Nanotechnology in cosmetics: Opportunities and challenges*. *J Pharm Bioallied Sci*. 4(3), 186-193. URL: <https://doi.org/10.4103/0975-7406.99016> PMID: PMC3425166

Simons, H. (1980). *Towards a science of the singular: Essays about case study in educational research and evaluation*. (No Title).

Simons, J., Zimmer, R., Vierboom, C., Härten, I., Hertel, R., y Böhl, G. F. (2009). *The slings and arrows of communication on nanotechnology*. *Journal of Nanoparticle Research*, 11, 1555-1571.

Sims Bainbridge, W. (2002). *Public attitudes toward nanotechnology*. *Journal of Nanoparticle Research*, 4, 561-570. URL: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022805516652>.

Smandia, C. (2020). *CosmoExplainers. Explicando la ciencia en CosmoCaixa, el Museo de la Ciencia de la Fundación "la Caixa", Barcelona (España)*. *Journal of Science Communication, América Latina*, 3(2), A07.

Smith, L. M. (1978). *8: An Evolving Logic of Participant Observation, Educational Ethnography, and Other Case Studies*. *Review of Research in Education*, 6(1), 316–377. <https://doi.org/10.3102/0091732X006001316>

Smol, J. P. (2018). A crisis in science literacy and communication: Does reluctance to engage the public make academic scientists complicit?. *Facets*, 3(1), 952-957. URL: <http://doi.org/10.1139/facets-2018-0022>

Sprague, J., Stuart, D. y Bodary, D. (2018). *The Speaker's Handbook*, Spiral bound Version. Australia: Cengage Learning.

Stekolschik, G., Draghi, C., Adaszko, D. y Gallardo, S. (2010). Does the public communication of science influence scientific vocation? Results of a national survey. *Public Understanding of Science*, 19, (5), 625-637.

Stern, M.J, R.B. Powell y D. Hill. (2014). Environmental Education Program Evaluation in the New Millennium: what do we Measure and what Have we Learned?, *Env. Edu. Res.*, 20(5), 581-611 URL: 10.1080/13504622.2013.838749

Taboada, N. J., y Santiago, V. A. O. (2021). Evaluación de talleristas científicos: Propuesta desde la educación y la comunicación científica. *Emerging Trends in Education*, 4(7).

Tagüeña, J. (2011). El manejo de las escalas como obstáculo epistemológico en la divulgación de la nanociencia. *Mundo Nano* 4(2), 83-102.

Talavera Ortega, M., Mayoral García-Berlanga, O., Hurtado Soler, A., y Martín-Baena, D. (2018). Motivación docente y actitud hacia las ciencias: influencia de las emociones y factores de género. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 461-475.

Tarango, J., y Machin-Mastromatteo, J. D. (2017). The Role of Information Professionals in the Knowledge Economy: Skills, Profile and a Model for Supporting

Scientific Production and Communication. Chandos Publishing.

Tilly, C. (2006). O acesso desigual ao conhecimento científico. *Tempo Social*, 18(2), 47-63.

Tonda, J., y Burgos, E. (2007). Análisis y evaluación de las revistas de divulgación. Proceedings of the X Reunión de la Red de Popularización de la Ciencia y la Tecnología en América Latina y el Caribe (RED POP–UNESCO) y IV Taller 'Ciencia, Comunicación y Sociedad, 9-11. Recuperado de: <http://www.cientec.or.cr/pop/2007/MX-JuanTonda.pdf>.

Torres-Albero, C., Fernández-Esquinas, M., Rey-Rocha, J., y Martín-Sempere, M. J. (2011). Dissemination practices in the Spanish research system: scientists trapped in a golden cage. *Public Understanding of Science*, 20(1), 12-25. URL: doi: <http://dx.doi.org/10.1177/0963662510382361>.

Torres, L. y Duarte, A. (2018). Docente-Nano: una alternativa para la divulgación del concepto de nanomateriales en la educación media [tesis de maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Colombia]

Trench, B., y Junker, K. (2001, January). How scientists view their public communication. In Sixth International Conference on Public Communication of Science and Technology. Trends in Science Communication today: Bridging the Gap between Theory and Practice. Proceedings of the PCST2001 (pp. 1-3). URL: <http://visits.web.cern.ch/visits/pcst2001/proc/Trench-Junker.doc>

Trench, Brian (2017). «Universities, science communication and professionalism». *Journal of Science Communication* 16 (5): C02. ISSN 1824-2049. URL:10.22323/2.16050302.

Trilla, J. (2008). A educação não formal. EnV. A. Arantes (dir.). Educação formal e não formal. São Paulo:Summus.

Tuckman, B. (1994). Conducting educational research. California: Harcourt Brau Javanovich.

Turney, J. (1996). Public Understanding of Science. *The Lancet*, 347, 1087-1090

Turney, J. (2004). Accounting for explanation in popular science texts –an analysis fo popularized accounts of superstring theory. *Public Understanding of Science*, 13, 331-346.

Turney, J. (2008). Popular science books. En: Massimiano Bucchi y Brian Trench (Eds.) *Handbook of Public Communication of Science and Technology*. Londres: Routledge.

Tutor-Sánchez, J. (2013a). Actualidad y perspectivas de la divulgación y formación de la Nanotecnología en Iberoamérica : Red Nanodyf – Cyted. *Revista Digital Universitaria*, 14(3), 1–16.

Tutor-Sánchez, J. (2013b). Formación en nanociencia y nanotecnología: un reto en iberoamerica nanoscience and nanotechnology training: an iberoamerican challenge. *MOMENTO Revista de Física*, 46(E), 42–53. Recuperado de http://www.nano.edu.tw/en_US/

Tutor-Sánchez, J. D., y Takeuchi, N. (2015). ¿POR QUÉ ES NECESARIA LA DIVULGACIÓN Y LA FORMACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA?. *Momento*, (51), 45-58.

Tutor, J. y Serena, P. A. (2011). Situación de la divulgación y la formación en nanociencia y nanotecnología en Iberoamérica. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 4(2). Recuperado de <http://www.mundonano.unam.mx/pdfs/mundonano7.pdf>

van Aalderen-Smeets, S., y Walma van der Molen, J. (2013). Measuring primary teachers' attitudes toward teaching science: Development of the dimensions of attitude toward science (DAS) instrument. *International journal of science education*, 35(4), 577-600.

Vasconcelos, Clara y Praia, João. (2005). Aprendizaje en contextos no formales y alfabetización científica. *Alambique: didáctica de las ciencias experimentales*. 67-73.

Vázquez Alonso, Á., Acevedo Díaz, J. A., Manassero Mas, M. A., y Acevedo Romero, P. (2006). Actitudes del alumnado sobre ciencia, tecnología y sociedad, evaluadas con un modelo de respuesta múltiple. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 8(2), 1-37. Recuperado de: <https://redie.uabc.mx/redie/article/view/145/250>

Vázquez Alonso, Á., y Manassero Mas, M. A. (2008). El declive de las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes: un indicador inquietante para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(3), 274-292. Recuperado de: <http://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3740>

Velho, R. M., y Barata, G. (2020). Profiles, challenges, and motivations of science YouTubers. *Frontiers in Communication*, 5, 542936.

Veltri, G. A. (2013). Viva la Nano-Revolución! A semantic analysis of the Spanish

national press. *Science Communication*, 35(2), 143-167.

Verret, M. (1975). *Le temps des études* (Vol. 2). Paris: Libr. Honoré Champion.

Vessuri, H. (2009). Gobernabilidad del riesgo de la convergencia tecnológica. *Tecnología y Construcción*, vol. 25, pp. 79-85. Disponible en: <http://www2.scielo.org.ve/pdf/tyc/v25n3/art07.pdf>

Vizcaíno-Verdú, A., de-Casas-Moreno, P., y Contreras-Pulido, P. (2020). Divulgación científica en YouTube y su credibilidad para docentes universitarios. *Educación XX1*, 23(2), 283-306. URL: 10.5944/educXX1.25750

Wagensberg, J. (2000). Principios fundamentales de la museología científica moderna. *Alambique*, 26, 15-19.

Wagensberg, J. (2005). Los museos de la ciencia, espacios de encuentro para la creación de opinión pública. Francisco José Rubiavila, *Percepción Social de la Ciencia*, Academia de las Artes y las Ciencias Europeas.

Wagensberg, J. (2010). La ciencia también cuenta historias. *Revista Ñ*. Disponible en: http://www.revistaenie.clarin.com/ideas/tecnologiacomunicacion/Jorge_Wagensberg_0_374962752.html

Waldron, A. M., Sheppard, K., Spencer, D., y Batt, C. A. (2005). Too small to see: Educating the next generation in nanoscale science and engineering. *Nanofabrication towards biomedical applications: Techniques, tools, applications, and impact*, 373-389.

Watanabe, G. y Kawamura, M.R. (2016). El papel de la divulgación científica

realizada por científicos en la formación de profesores. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 19(2), 61-73.

URL:<http://dx.doi.org/10.6018/reifop.19.2.253951>

Williams, M., y Ringbauer, S. E. (2014, June). PBL field deployment: Lessons learned adding a problem-based learning unit to a traditional engineering lecture and lab course. In 2014 ASEE Annual Conference y Exposition (pp. 24-974).

Winter E., 2004. Public communication of science and technology – German and European perspectives. *Science Communication*, 25(3), 288–293.

Xue, A., y Hwang, D. (2011). Nanotechnology funding: Corporations grab the reins. *Lux Research*, April.

Yawson R. M. (2017) Systematic Review to Identify Skill Needs for Agrifood Nanotechnology Workforce. *Career and Technical Education Research*42(3), 149-181.

Zamarrón, G. (2002). Divulgación de la ciencia. Un acercamiento. J. Tonda, A. M. Sánchez, y N. Chávez (Edits.), *Antología de la divulgación de la ciencia en México*, 343-352.

Zanella, R. (2014). Aplicación de los nanomateriales en catálisis. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 7(12), 66-82.

Zaragoza, J. C., y Marín, D. R. (2020). El movimiento youtuber en la divulgación científica española. *Revista Prisma Social*, (31), 212-238.

WEBGRAFÍA

<http://www.nanotechproject.org>

www.nano.gov/node/729

<http://www.nynanobusiness.org>

<http://www.nclt.us>

http://www.nano.edu.tw/en_US/

<http://www.citesciences.fr/francais/alcite/expositions/nanotechnologies/>

<http://en.nano.ir/>

www.nanodyf.org

www.nanoyou.eu

<http://www.nanospain.org/nanospain.php?p=h>

<http://nanoeduca.cat/es/inicio/>

<http://www.madrimasd.org/blogs/jrleitenano/red-nanodyf-2/>

[www.inma https://inma.unizar-csic.es/divulgacion/](http://www.inma.es/https://inma.unizar-csic.es/divulgacion/)

<http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM001594.pdf>

<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/38558/TFM-G1023.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

https://commission.europa.eu/research-and-innovation_en

<http://www.efcam.eu/cam/cam-definition/>

ÍNDICES

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de la educación formal y no formal (extraído de Colado, 2021)	23
Tabla 2. Relación entre educación científica y divulgación científica (extraído de Blanco-López, 2004).	44
Tabla 3. Perfiles encargados de la divulgación científica (elaboración propia).	60
Tabla 4.. Tipos de microscopía electrónica. Extraído de Guía didáctica exposición "Nanociencia, un mundo a otra escala" (INMA).	79
Tabla 5.. Iniciativas de divulgación de la Nanociencia en diferentes áreas geográficas. Seleccionadas y extraídas de https://programainvestiga.org/pdf/presentaciones14_15/PresentacionNanotecnologia metodologiasymaterialesparaelaula.PedroSerena.pdf	87
Tabla 6: Características y posibilidades del cuestionario y la entrevista (Tuckman, 1994).	126
Tabla 7. Perfiles de los expertos que realizaron la validación del cuestionario (elaboración propia).	138
Tabla 8. Dificultades encontradas por los educadores en EP y ESO al divulgar la Nanociencia	160
Tabla 9. Leyenda de color para la codificación de parámetros a analizar en el discurso formativo	178
Tabla 10. Palabras clave identificadas y ordenadas por número de apariciones	181
Tabla 11. Comparación de definiciones de conceptos clave.....	183
Tabla 12. Vinculación de conceptos clave con ideas y conocimientos previos	187
Tabla 13. Estrategias para la explicación de conceptos clave	189
Tabla 14. Ejemplos agrupados por categorías.....	193
Tabla 15. Otras estrategias utilizadas en el discurso formativo.....	193

Tabla 16. Datos de los centros participantes en el proyecto “Los Nanomartes” por curso académico 216

Tabla 17. Datos cuantitativos de los cuestionarios rellenados por curso académico . 216

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la estructura conceptual de la tesis (elaboración propia)	15
Figura 2. Esquema trasposición didáctica (Chevallard, 1991).....	30
Figura 3. Aplicación del concepto de transposición didáctica al concepto de distancia según Chevallard (2000)	30
Figura 4.. Los componentes para evaluar en la comunicación pública de la ciencia. Extraído de Sánchez-Mora y Macías-Nestor (2019).....	50
Figura 5. Competencias en producción y comunicación científica. Extraído de Tarango y Machin-Mastromatteo (2017).....	64
Figura 6. Interrelación entre las competencias del educador científico para la divulgación en educación no formal (elaboración propia).	67
Figura 7. Tipos de dificultades en la divulgación de la Nanociencia (elaboración propia)	98
<i>Figura 8. Cronograma de tareas para la realización de la tesis.</i>	<i>122</i>
Figura 9. Fases proceso depuración cuestionario según Casas et. al, (2006)	129
Figura 10, Grafico ilustrado de las ciudades de residencia de los educadores de la muestra de estudio (elaboración propia).....	151
Figura 11. Nube de frecuencias de palabras clave (elaboración propia)	156
Figura 12. Nube de frecuencias de aplicaciones agrupadas por sectores (elaboración propia).	158
Figura 13. Percepción de la valoración de la divulgación en la sociedad.....	161
Figura 14. Valoración de la medida en la que los educadores consideran importante poseer conocimientos de los contenidos a divulgar (verde), de didáctica (naranja) y de comunicación (azul).....	161
Figura 15. Ejemplo representación gráfica de la escala métrica (extraído del álbum ilustrado “El mundo secreto de Nanoelia”, (Jaime Lahoz, 2021)).....	184

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Collage fotos European Researchers' Nigth en Caixaforum Zaragoza, 2018 (Esciencia).....	41
Fotografía 2. European Researchers' Nigth en terraza Caixaforum Zaragoza, 2018 (Esciencia).....	41
Fotografía 3. Actividad de divulgación de Nanociencia programada en el ámbito cultural de El Corte Inglés de Zaragoza con motivo del 11F (2022).....	42
Fotografía 4. Exposición "Bienvenidos a la Nanodimensión" en centro comercial. España, 2016. (Esciencia).....	106
Fotografía 5. Módulos de la exposición "Bienvenidos a la Nanodimensión". España 2018. (Esciencia).....	106
Fotografía 6. Cajas sensoriales proyecto "Los cinco sentidos y la Nanotecnología". (Esciencia).....	108
Fotografía 7. Final Feria Fenanómenos en Torre del agua, Zaragoza. 2018. (Esciencia)	108
Fotografía 8. Obra realizaada por Lorena Cosba inspirada en el trabajo de investigación de María Moros. Casa de la Mujer (2022).Página web INMA.....	109
Fotografía 9. Participantes del escape hall "El rescate del Titán, 2019. (Esciencia)	110
Fotografía 10. Maletines didácticos Futurenano y El rescate del Titán (versión escape box), 2017 y 2019. (Esciencia)	111
Fotografía 11. Modelos moleculares fullereno y nanotubo de carbono	180
Fotografía 12. Album ilustrado "El mundo Secreto de Nanoelia", 2021	181
Fotografía 13. Páginas interiores de la Guía Didáctica de Los Nanomartes: ejemplo de capítulo completo con los apartados teóricos y experimentales	209
Fotografía 14. Páginas interiores de la Guía Didáctica de Los Nanomartes: ejemplo de experiencia para realizar con materiales proporcionados por el profesor.....	209
Fotografía 15. Ffotografía del interior del maletín (Esciencia).	211

Fotografía 16. Fotografía maletín completo (Esciencia).	212
Fotografía 17. Vista ejemplo del informe IES Rodanas (Épila).	218
Fotografía 18. Ejemplo recopilación de apariciones IES Ródanas y Colegio La Anunciata	219
Fotografía 19. Experiencia 8 en la que aparece la aplicación de un body termocrómico	226
Fotografía 20. Ejemplos de representaciones gráficas de estructuras tridimensionales.	229

