



Universidad de Granada

Máster Universitario en Gestión y Seguridad Integral en la Edificación

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Prevención de Riesgos Laborales en el uso de los nanomateriales

Granada, septiembre de 2013

Beatriz María Díaz Soler

Tutoras:

Dra. M^a Dolores Martínez Aires

Dra. Mónica López Alonso

Dra. M^a del Mar Muñío Martínez

Prevención de Riesgos Laborales en el uso de los nanomateriales

Trabajo Fin de Máster presentado para optar al **Título de Máster en Gestión y Seguridad Integral en Edificación**, en el Itinerario de Iniciación a la Investigación, por Dña. Beatriz María Díaz Soler, siendo las tutoras del mismo las doctoras: Dra. María Dolores Martínez Aires, Dra. Mónica Alonso López y Dra. María del Mar Muñío Martínez.

Vº. Bº.

Vº. Bº.

Fdo. Dra. María Dolores Martínez

Fdo. Beatriz María Díaz Soler

Fdo. Dra. Mónica Alonso López

Fdo. María del Mar Muñío Martínez

Granada, 10 de septiembre de 2013

MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN Y SEGURIDAD INTEGRAL EN EDIFICACIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER. ITINERARIO DE INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

CURSO ACADÉMICO 2012-2013

TÍTULO:

PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN EL USO DE LOS NANOMATERIALES

AUTORA:

DÑA. BEATRIZ MARÍA DÍAZ SOLER

TUTORAS ACADÉMICAS:

Dra. María Dolores Martínez Aires. Departamento de Construcciones Arquitectónicas

Dra. Mónica López Alonso. Dpto. de Ingeniería De La Construcción Y Proyectos De Ingeniería

Dra. María Del Mar Muño Martínez. Departamento de Ingeniería Química

RESUMEN:

La nanotecnología manipula la materia a la escala atómica y permite producir nuevos materiales, estructuras y dispositivos con propiedades extraordinarias, aprovechando las características que manifiestan los materiales a la escala nanométrica, diferentes de las habituales. Sin embargo a la misma vez, estas propiedades y efectos pueden presentar riesgos para la salud, seguridad y medio ambiente que aún no son totalmente comprendidos. En la actualidad las fabulosas expectativas de los nanomateriales han estimulado un rápido desarrollo de la nanotecnología incrementando a la misma vez el número trabajadores expuestos a nanomateriales. En la presente investigación, se diseña y valida un cuestionario para descubrir cuáles son las prácticas en materia preventiva que realizan los trabajadores expuestos a nanomateriales en España, con la intención de arrojar luz a este marco de incertidumbre en relación a la Prevención de Riesgos Laborales en el campo de la nanotecnología.

PALABRAS CLAVE: Nanomaterial, encuesta, seguridad de los trabajadores, salud ocupacional, revisión general.

ABSTRACT:

Nanotechnology handles matter at the atomic scale to produce new materials, structures and devices with extraordinary properties, taking advantage of the features that show the materials to the nanometer scale, different from the usual.

But at the same time, these properties and effects may present risks to health, safety and environment are not yet fully understood.

Today the fabulous expectations of nanomaterials have stimulated rapid development of nanotechnology at the same time increasing the number of workers exposed to nanomaterials.

In the present investigation, is designed and validated a questionnaire to find out what are the preventive practices performed by workers exposed to nanomaterials in Spain, with the intention of shedding light on this framework of uncertainty in relation to occupational risk prevention in the field of nanotechnology.

KEYWORDS: Nanomaterial, survey, worker safety, occupational health, review general.

Agradecimientos

Quiero manifestar mi agradecimiento a mis tutoras, por la confianza que han mostrado en mí, su paciencia e interés; así como a los componentes del panel de expertos, pues sin ellos no hubiera sido posible la concreción del trabajo y a María del Mar Rueda por sus orientaciones en estadística.

También agradezco el apoyo de mis padres, Inmaculada y Rubi, y en especial a Agustín pues su ayuda ha sido vital.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	19
1.1	NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA	19
1.2	EVOLUCIÓN HISTÓRICA.....	20
1.3	NANOMATERIALES	24
1.3.1	DEFINICIÓN.....	24
1.3.2	CLASIFICACIÓN Y TIPOS.....	27
1.3.3	TÉCNICAS DE OBTENCIÓN.....	31
1.3.4	OBSERVACIÓN Y MANIPULACIÓN EN EL NANOMUNDO	32
1.3.5	CARACTERÍSTICAS DE LOS NANOMATERIALES.....	34
1.4	BENEFICIOS DE LA NANOTECNOLOGÍA.....	39
1.4.1	EL MERCADO DE LAS NANOTECNOLOGÍAS	48
1.5	RIESGOS DE LA NANOTECNOLOGÍA	52
1.6	PERCEPCIÓN PÚBLICA DE LA NANOTECNOLOGÍA.....	56
1.7	MARCO REGULATORIO	58
2	PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES	65
2.1	EXPOSICIÓN A NANOPARTÍCULAS	65
2.1.1	IDENTIFICACIÓN DE LA EXPOSICIÓN LABORAL	65
2.1.2	CUANTIFICACIÓN DE LA EXPOSICIÓN.....	66
2.2	DAÑOS PARA LA SALUD	73
2.2.1	TOXICOCINÉTICA	73
2.2.1.1	DEPÓSITO Y ABSORCIÓN DE NANOPARTÍCULAS.....	73
2.2.1.2	TRANSPORTE.....	76
2.2.1.3	METABOLIZACIÓN Y ELIMINACIÓN	76
2.2.2	MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN LA SALUD	77
2.2.3	EFFECTOS SOBRE LA SALUD	78
2.3	INCIDENCIA EN LA SEGURIDAD	84
2.3.1	RIESGO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN.....	84
2.4	ESTRATEGIAS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS	85
2.4.1	CONTROL BANDING	85
2.4.2	OTRAS METODOLOGÍAS	88
2.5	CONTROL DE LA EXPOSICIÓN A NANOMATERIALES.....	90
2.5.1	ELIMINACIÓN	90

2.5.2	SUSTITUCIÓN DE LAS SUSTANCIAS, PROCESOS Y EQUIPOS.....	91
2.5.3	MEDIDAS DE CONTROL TÉCNICAS.....	91
2.5.4	MEDIDAS ORGANIZATIVAS: BUENAS PRÁCTICAS DE TRABAJO	94
2.5.5	PROTECCIÓN INDIVIDUAL	96
2.6	INSTALACIONES Y LUGAR DE TRABAJO.....	98
2.7	FORMACIÓN E INFORMACIÓN.....	99
2.8	CONSULTA Y PARTICIPACIÓN DE LOS TRABAJADORES	100
2.9	VIGILANCIA SALUD	100
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	103
3.1	JUSTIFICACIÓN.....	103
3.2	OBJETIVOS	104
3.3	HIPÓTESIS DE ESTUDIO.....	104
3.4	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	106
4	ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN	109
4.1	ANTECEDENTES EN EL ESTUDIO SOBRE EL CONOCIMIENTO EN MATERIA PREVENTIVA Y LAS PRÁCTICAS DE TRABAJO SEGURAS	109
4.2	INVESTIGACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA.....	113
4.2.1	LÍNEAS Y TENDENCIAS	113
4.2.2	PROYECTOS DE I+D EN NANOTECNOLOGÍA	115
4.2.3	PATENTES EN EL ÁMBITO DE LA NANOTECNOLOGÍA	116
4.2.4	INVERSIÓN ECONÓMICA EN EL DESARROLLO DE LA NANOTECNOLOGÍA.....	117
5	APLICACIÓN EMPÍRICA.....	119
5.1	METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN EMPÍRICA	119
5.2	DETERMINACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE INVESTIGACIÓN	122
5.2.1	LA ENCUESTA COMO TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA.....	122
5.2.1.1	DISEÑO DEL CUESTIONARIO.....	123
5.2.1.2	DISEÑO DE LA MUESTRA.....	124
5.2.2	EL PANEL DE EXPERTOS COMO TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN CUALITATIVA.....	134
5.2.2.1	VALIDACIÓN DEL CUESTIONARIO POR PANEL DE EXPERTOS.....	135
5.3	PRE-TEST	139
5.4	RESULTADOS	140

6	CONCLUSIONES	141
7	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	143
8	REFERENCIAS	145
9	ANEXOS	169
9.1	PANEL DE EXPERTOS: CUESTIONARIO ITINERARIO POSITIVO	169
9.2	PANEL DE EXPERTOS: CUESTIONARIO ITINERARIO NEGATIVO	194
9.3	CUESTIONARIO 0.....	209

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de nanomateriales en función de su composición química y de la dimensionalidad de los cristales.	28
Tabla 2: Símbolos que se utilizan para categorizar a los nanomateriales y nanoestructuras heterogéneas en términos de su estructura.	30
Tabla 3: Propiedades que manifiestan cambios al reducir de las partículas.....	35
Tabla 4: Artículo catalogado en Nanodatabase. Raqueta de tenis: Wilson nCode	50
Tabla 5: Evolución de las posibles nanotecnología a través del tiempo.	51
Tabla 6: Algunos factores clave que afectan a la percepción sobre el riesgo	56
Tabla 7: Normas ISO publicadas relacionadas con los nanomateriales	60
Tabla 8: Nuevos sistemas de medida desarrollados en el proyecto NANODEVICE.....	70
Tabla 9: Cálculo de la puntuación de la severidad.....	86
Tabla 10: Cálculo de la puntuación de probabilidad.	87
Tabla 11: Matriz de decisiones en función de la severidad y la probabilidad.....	87
Tabla 12: niveles de riesgo y las medidas preventivas y de protección a tomar.....	88
Tabla 13: Revistas científicas del primer cuartil	113
Tabla 14: Número de los núcleos del universo correspondientes a cada grupo definido para la investigación en total	130
Tabla 15: Cantidad de individuos identificados.....	132

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1: Expectativas de ingresos por el impacto de la nanotecnología	48
Gráfica 2: Consciencia de la nanotecnología, en la Europa de los 27 en 2010.....	57
Gráfica 3: Instrumentos para la cuantificación de la exposición ambiental de aerosoles.	68
Gráfica 4: Depósito total y por regiones de las nanopartículas en función del diámetro de las partículas calculado con modelo de la CIPR	74
Gráfica 5: Fases de la metodología de la línea de investigación, distinguiendo fases, capítulos y etapas.....	108
Gráfica 6: Evolución temporal (1960-2013) de las publicaciones de las bases de datos Medline y Web of Science en relación al tipo de nanopartícula.....	114
Gráfica 7: Evolución (1960-2013) temporal de las publicaciones de las bases de datos Medline y Web of Science según el tipo de grupo de riesgo a exposición a nanomateriales.....	115
Gráfica 8: Patentes triádicas en el ámbito de la nanotecnología por millón de habitantes de los siete países con mayor registro y España en el periodo 2000-2009	117
Gráfica 9: Desarrollo de la metodología para la aplicación empírica	121
Gráfica 10: Valoración de aspectos cualitativos del cuestionario mediante escala Likert de 5 niveles.....	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Escala en nanómetros contextualizada.	19
Figura 2: La copa de Licurgo.....	20
Figura 3: (a) Sable damasquino; (b) imagen TEM de sable damasquino que muestra los restos de nanohilos de cementita encapsulados en nanotubos de carbono.	21
Figura 4: Mapa mundi a nanoescala.	24
Figura 5: Fragmento de jerarquía de términos relativos a nano-objetos.	27
Figura 6: Clasificación dimensional de nanoestructuras.	29
Figura 7: Esquema ilustrativo del concepto de obtención <i>Top-down</i> versus <i>bottom-up</i> y su calendario de implantación.....	32
Figura 8: C ₆₀ (a) y C ₇₀ (b).	36
Figura 9: Esquemas de un nanotubo de carbón de pared simple (a) y 36	
Figura 10: Nanopartículas de grafito.....	40
Figura 11: Superficie pulida de un tablero de densidad media, con una capa superior de bambú, tratada con una capa altamente resistente a los arañazos y basada en nano-SiO ₂	41
Figura 12: Ciclo de vida de los nanoproductos.....	54
Figura 13: Biocinética de las partículas nanométricas. Rutas confirmadas e hipotéticas.	73
Figura 14: Partes del árbol respiratorio.....	74
Figura 15: Epitelio pulmonar atravesado por un nanotubo de carbono multipared.....	80
Figura 16: Esquema de la estrategia de gestión de riesgos.....	88
Figura 17: Ilustración de personal equipado para trabajar con nanomateriales en un laboratorio clasificado como nano 3.	89
Figura 18: Jerarquía de las medidas a tomar para controlar la exposición a nanomateriales.....	90
Figura 19: Horno cerrado en el que se elaboran nanotubos de carbono 91	
Figura 20: Laboratorio de investigación cerrado herméticamente, bajo presión negativa, evitando paso de nanomateriales a otras zonas.....	92
Figura 21: Glove-box.	92
Figura 22: Glove-bag.....	92
Figura 23: Suministrador de aire estándar en oficina.	93
Figura 24: Vitrinas de laboratorio: convencional (a) y vitrina con extracción frontal (b).	93
Figura 25: Sistemas de ventilación.....	94
Figura 26: Guantes de nitrilo 96	
Figura 27: Mono tipo Typek.	97
Figura 28: Forma incorrecta de colocación de guantes y puños del mono (a) 97	
Figura 29: Equipo suministrador de aire (a), mascarilla desechable con filtro FFP3 (b), respirador con máscara facial completa filtrante (c) y respirador con máscara facial parcial filtrante (d).	98
Figura 30: Zona señalizada de trabajo.	99
Figura 31: Ejemplo de pictograma "Riesgo de exposición a nanopartículas".....	99
Figura 32: Esterilla antideslizante 99	
Figura 33: Interfaz del cuestionario elaborado con LimeSurvey.	124

Figura 34: Identificación del número de núcleos del universo de estudio correspondientes a cada grupo definido para la investigación por Comunidades Autónomas..... 131

Figura 35: Identificación del número de individuos correspondientes a los grupos: universidad, Organismos Públicos de Investigación y otros centros diferenciados por Comunidades Autónomas. 133

1 INTRODUCCIÓN

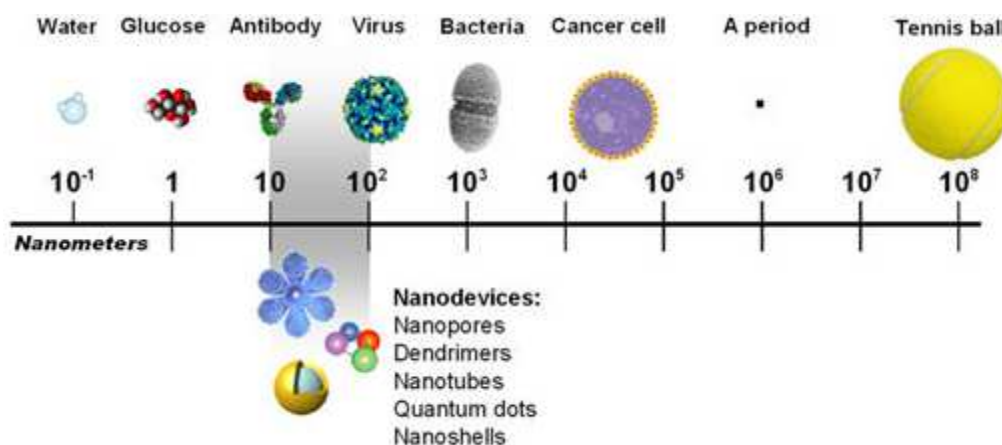
1.1 NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA

La *nanociencia* se define como el “estudio, descubrimiento y comprensión de la materia en la nanoescala” en la cual, como consecuencia de su tamaño, puede manifestar propiedades y fenómenos distintos a los propios en escalas mayores.

El intervalo de la *nanoescala* abarca desde, aproximadamente, 1 nanómetro (en lo que sigue, nm) hasta 100 nm. El límite inferior excluye del rango nanométrico tanto a átomos individuales como a pequeños grupos de átomos (International Organization for Standardization (ISO), 2011a).

En la Figura 1, se hace una comparación de los tamaños de distintos objetos para reflexionar sobre las pequeñas dimensiones en las que la nanociencia se desarrolla. El prefijo nano equivale a 10^{-9} m en el Sistema Internacional de Unidades (General Conference on Weights and Measures, 1960).

Figura 1: Escala en nanómetros contextualizada.



Fuente: (National Cancer Institute EEUU, 2013)

La International Organization for Standardization (en lo que sigue, ISO) (2011a) define la *nanotecnología* como “la aplicación del conocimiento científico a la manipulación y control de la materia a nanoescala para aprovechar las propiedades y fenómenos” dependientes del tamaño nanométrico. Sin embargo, la (US National Nanotechnology Initiative (2013) puntualiza sobre las siguientes características a cumplir por una tecnología para denominarla *nanotecnología*:

- La investigación y el desarrollo tecnológico se deben aplicar a estructuras tales que, al menos, una de sus dimensiones (p. e., su longitud) estén en la nanoescala.
- Con ella se obtienen o utilizan estructuras, dispositivos y sistemas con propiedades y funciones características como consecuencia de su dimensión nanométrica.
- Tiene capacidad para controlar o manipular la materia a escala atómica.

1.2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA

El mundo *nano* ha existido en la Naturaleza desde el mismo origen de la vida en la Tierra. Basta considerar, por ejemplo, las bacterias, las partículas de agua en las nieblas y las existentes en humos cuyo origen es la actividad volcánica (Rosell & Pujol, 2008) ; también se encuentran algunas estructuras funcionales de tamaño nanométrico como la oreja de mar, un molusco cuya concha está formada por unidades organizadas nanoestructuradas de carbonato de calcio que le otorgan una gran resistencia y color iridiscente (Poole & Owens, 2007) .

Poole & Owens (2007) declaran incertidumbre acerca del momento en el que los humanos empezaron a aprovechar las ventajas de los nanomateriales. A continuación se citan algunas evidencias de manifestaciones de nanotecnología accidental a lo largo de la Historia:

La *copa de Licurgo* es un tipo de vaso romano del siglo IV d.C., conocido como *diatrete*. Su cristal contiene nanopartículas, de oro y plata, originadas por la reducción del oro y la plata que previamente habían sido disueltos durante el tratamiento térmico del cristal. Esta reacción *redox* era inducida por el antimonio que añadían al cristal. El efecto final que se consigue es que el cristal sea *dicróico* y tenga unos inusuales efectos ópticos, pasando el cristal de un color amarillo-verdoso al rubí cuando la luz lo atraviesa, ver Figura 2, (Freestone, Meeks, Sax, & Higgitt, 2007).

Figura 2: La copa de Licurgo.



Fuente: (Freestone et al., 2007)

De la Edad Media han perdurado diversos testimonios indirectos del uso de nanomateriales en algunas vidrieras de los templos de la época, las cuales deben su impresionante coloración a la dispersión coloidal de nanopartículas de oro que produce un efecto similar al de la *copa de Licurgo* (Wilcoxon, 2009). Serena (2010) señala otras evidencias en la Edad Media del uso de los efectos de las nanopartículas como, por ejemplo, las cerámicas de Manises, cuyas pinturas tienen pequeñas adiciones de cobre y plata. Por último, cabe reseñar que las famosas espadas fabricadas en Damasco, que eran conocidas por su extraordinaria tenacidad y filo indestructible, debían sus propiedades a la presencia de nanotubos de carbono y de carburos de hierro como consecuencia de los métodos de forja empleados, ver Figura 3.

Figura 3: (a) Sable damasquino; (b) imagen TEM de sable damasquino que muestra los restos de nanohilos de cementita encapsulados en nanotubos de carbono.



Fuente: (a) (Fineberg, 2006); (b) (Reibold *et al.*, 2006)

En las ruinas de los templos mayas todavía permanecen inalterados algunos decorados de color azul intenso o azul maya, el cual se obtenía a partir de un colorante orgánico llamado índigo o añil. Esta coloración ha permanecido inalterado porque el pigmento usado estaba formado por moléculas de índigo atrapadas en la estructura porosa de diferentes arcillas, entre la que destaca la paligorskita, la cual proporcionaba estabilidad y protección a las moléculas del colorante, un auténtico nanohíbrido (Serena, 2010).

La fotografía tendría un gran desarrollo durante los siglos XVIII y XIX. Usa una tecnología basada en materiales nanométricos ya que depende de la producción de nanopartículas sensibles a la luz (Poole & Owens, 2007). En 1826, Niépce obtuvo la primera impresión fotográfica permanente (Motta, 2010).

En 1857, Michael Faraday, creador del electromagnetismo y la electroquímica, fue el primero en investigar científicamente estos fenómenos. En particular, estudió cómo influía el tamaño de las partículas de oro en los colores de los vidrios cuando los atravesaba la luz (Faraday, 1857). Sin embargo, no sería hasta 1908 cuando Gustav Mie consiguió explicar y demostrar el fenómeno del color de los vidrios depende del tamaño y tipo de metal (Poole & Owens, 2007).

El desarrollo de dispositivos y aparatos electrónicos se inició a finales de siglo XIX. En la primera mitad del siglo XX, el protagonismo correspondió a la *electrónica de vacío* que se basaba en las propiedades del triodo vacío construido en 1906 por L. De Forest. Esta electrónica de vacío sería sustituida por la *electrónica de estado sólido*, gracias a dispositivos como el transistor inventados en 1947 por J.Bardeen, W.Brattain y W.B. Shockley. En 1958, J.Kilby, de la empresa Texas Instruments, y, en 1959, R. Noyce fabricarán de forma simultánea transistores, resistencias y condensadores sobre una oblea de silicio: un circuito integrado (Serena, 2010).

Con la fabricación de los circuitos integrados nace el concepto de miniaturización cuyo objetivo era miniaturizar los equipos electrónicos para incluir funciones electrónicas cada vez más complejas en un espacio limitado con el mínimo peso. En 1965, la Ley de Moore predecía que aproximadamente cada dos años se duplicaría el número de transistores que se podían empaquetarse por unidad de superficie (G. E. Moore, 1998). Más tarde, en 1975, rectificaría Moore su propia ley para aumentar el plazo a dos años (G. E. Moore, 1995).

Sin embargo, sólo hace unas décadas, los científicos comenzaron a estudiar con afán los fenómenos de la *nanociencia*. De hecho, la primera vez que la idea de la nanotecnología fue introducida, aunque sin nombrarla explícitamente, fue en 1959, por Richard Feynman en su discurso académico *There's Plenty of Room at the Bottom* (Feynman, 1960). En él se trató el principio fundamental de la nanotecnología sugiriendo que sería posible la manipulación directa de los átomos individuales (fabricación molecular) de una forma precisa. Además, en una posición más radical, pensó que sería posible crear máquinas a nanoescala a través de una cadena en cascada de miles de millones de fábricas (Fanfair, Desai, & Kelty, 2007). Estas fábricas irían progresivamente creando versiones de las máquinas a escala cada vez más pequeñas. En sus especulaciones también sugirió que había factores que sólo en la escala nanométrica tenían repercusión; así, por ejemplo, la gravedad se volvería insignificante y las fuerzas de atracción de Van Der Waals y la tensión superficial cobrarían mucha más importancia (Santamaria, 2012). Richard Feynman recibiría el premio Nobel de Física en 1965 por su contribución a la *electrónica cuántica* y no por el reconocimiento del potencial de la nanotecnología (Nobelprize.org, b).

La primera vez que el término *nanometro* se usó para caracterizar las partículas del tamaño 10^{-9} m fue en 1914, por Richard Adolf Zsigmondy (Santamaria, 2012). No obstante, hubo que esperar hasta 1960 para que se reconociera el prefijo *nano* en el Sistema Internacional de Unidades (General Conference on Weights and Measures, 1960).

La palabra *nanotecnología* fue utilizada por primera vez en 1974, por Norio Taniguchi, manifestando en una publicación que la "nanotecnología, principalmente, consiste en el proceso de separación, consolidación y deformación de los materiales por átomos o moléculas" (Taniguchi, 1974).

Hasta la década de los 80 la nanotecnología no se desarrollaría como un campo propiamente. Eric Drexler expandiría la visión de Feynman en su primer artículo, publicado en 1981, titulado *Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation*. En él, Drexler discutía la posibilidad de las manufacturación molecular como un proceso de fabricación de objetos con especificaciones atómicas, usando proteínas moleculares diseñadas específicas para el proceso (Drexler, 1981). Después, tomaría estos conceptos y los ampliaría en su libro *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* (Drexler, 1986). Finalmente, debido a la publicidad de los trabajos de Drexler y del instituto de investigación que fundara, *Foresight Institute*, creció el interés general de los científicos por investigar este campo (Santamaria, 2012).

La nanotecnología ha sido estimulada por el desarrollo de la instrumentación y la disponibilidad de herramientas que permitieran a los científicos ver cosas que no eran capaces de ver en el pasado (Santamaria, 2012). El impulso comienza en 1931, cuando E.Ruska y M.Knoll inventan el microscopio electrónico. Más tarde, en 1956, E.E Müller observa por primera vez átomos usando un microscopio de emisión de campo (FIM) (Serena, 2010). Sin embargo, no se pudieron identificar claramente los átomos individuales hasta 1981, cuando Binning y Rohrer inventaron el microscopio de efecto túnel (STM) (Binning, Rohrer, Gerber, & Weibel, 1982). Por último, cabe añadir que las limitaciones del STM se superaron en 1986 por el Microscopio de Fuerza Atómica (AFM) que permitía ver imágenes de materiales no conductores como las moléculas orgánicas y organismos vivos (Santamaria, 2012).

El descubrimiento del STM permitió, en 1985, que se consiguiera sintetizar fullereno (C₆₀) (Kroto, Heath, O'Brien, Curl, & Smalley, 1985). Los investigadores H. Kroto, R.F. Curl y R. Smalley obtuvieron el Premio Nobel de Química, en 1996, por el descubrimiento de estas nuevas formas de carbono (Nobelprize.org, a).

En 1991, Sumio Iijima descubre los nanotubos de carbono, aunque con anterioridad otros científicos hicieron observaciones de estructuras tubulares de carbono (Iijima, 1991). En 2008 recibiría el premio Kavli Prize en nanociencia (Javey, 2008).

Con la aparición de la nanolitografía tipo dip-pen, en 1999, se superan los inconvenientes de las técnicas de nanolitografía por sonda de barrido, en cuanto a la velocidad de procesamiento y la dificultad de crear matrices de nanoestructuras formadas por distintos materiales. La nanolitografía dip-pen se basa en sondas de barrido en la que una punta de AFM recubierta de un material que se depositará a modo de tinta para crear nanoestructuras sobre la superficie (Piner, Zhu, Xu, Hong, & Mirkin, 1999). Por este método se ha conseguido depositar, tanto en superficies blandas como duras, materiales como moléculas orgánicas pequeñas (Zhou, Li, Wu, Wei, & Liu, 2004) o polímeros (Nyamjav & Ivanisevic, 2004).

En 2000, Bill Clinton impulsa el comienzo de la National Nanotechnology Initiative, con el objetivo de coordinar los recursos y el esfuerzo para desarrollar una nanotecnología competente. El potencial de la iniciativa sería reconocida por ley más tarde al aprobar George Bush la creación formal de la National Nanotechnology Initiative (National Nanotechnology Initiative (NNI), a). En Europa, las políticas y decisiones a tomar sobre los nanomateriales comenzaría a tomar impulso con la estrategia del 2004 "Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías" (European Commission, 2012a).

En 2006, el panorama de las baterías recargables de dispositivos electrónicos y vehículos híbridos evoluciona gracias a un virus, *Filamentous bacteriophage* (National Nanotechnology Initiative (NNI), b). Este virus, que no es nocivo para el ser humano, es capaz de sintetizar y unir nanocables de óxido de cobalto a temperatura ambiente, el cual tiene unas propiedades electroquímicas muy buenas y se utiliza como electrodo en las baterías de litio-ion. Estas baterías tienen un coste menor, tienen un mejor comportamiento medioambiental y no minoran la capacidad y rendimiento de otras baterías recargables (Nam *et al.*, 2006).

En 2010, científicos de IBM, utilizando el calor de una punta de silicio, han cincelado en 143 segundos, sobre una capa de 250 nm del polímero *polyphthalaldehyde*, un mapa mundi en 3D a nanoescala, ver Figura 4. El estampado está compuesto por 5x10⁵ píxeles, cada uno mide 20 nm². El procedimiento utilizado permite tener una precisión mayor que otros métodos y además es más eficiente (Knoll *et al.*, 2010). Este hallazgo supone un avance importante para la generación de modelos y estructuras a nanoescala, ya que permite realizar estampados más pequeños de 15 nm con menos complejidad y costes que otros mecanismos como la litografía por evaporación de metales térmica y por cañón de electrones (e-beam) (IBM, 2010).

Figura 4: Mapa mundi a nanoescala.



Fuente: (Knoll *et al.*, 2010)

1.3 NANOMATERIALES

1.3.1 DEFINICIÓN

La Unión Europea European Commission (2011c) define el concepto de nanomaterial, a utilizar por los Estados miembros, las agencias de la Unión Europea y las empresas, a efectos reglamentarios. No obstante, esta definición será revisada en 2014:

Material natural, accidental o fabricado que contenga partículas, sueltas o formando un agregado o aglomerado y en el que el 50 %, o más, de las partículas en la granulometría numérica presente una o más dimensiones externas en el intervalo de tamaños comprendido entre 1 nm y 100 nm.

En casos específicos y cuando se justifique por preocupaciones de medio ambiente, salud, seguridad o competitividad, el umbral de la granulometría numérica del 50 % puede sustituirse por un umbral comprendido entre el 1 % y el 50 %.

No obstante, los fullerenos, los copos de grafeno y los nanotubos de carbono de pared simple con una o más dimensiones externas inferiores a 1 nm también deben considerarse nanomateriales.

Por otro lado, la International Organization for Standardization (ISO) (2011a) define *nanomaterial* de la siguiente manera:

Material que tenga cualquier dimensión externa en la nanoescala o con una estructura interna o superficial en la nanoescala. El nano-objeto y el material nanoestructurado es incluyen en el término.

Así como los nanomateriales artificiales (engineered nanomaterial), a los nanomateriales fabricados (manufactured nanomaterial) y a los nanomateriales secundarios (incidental nanomaterial).

De ambas definiciones se aprecia que en la definición de la Unión Europea, en adelante EU, no se incluye a los materiales nanoestructurados, es decir con una estructura interna o superficial en la nanoescala, a diferencia de la definición de la ISO. De todas formas en la International Organization for Standardization (ISO) (2011b) se especifica que

aunque casi todos los materiales siempre tiene superficies con heterogeneidades morfológicas y químicas en la nanoescala, sólo las superficies que han sido intencionalmente modificadas o texturizadas se identifican con materiales nanoestructurados.

Por otro lado, la definición de la UE considera a los nanomateriales como un material que contiene un conjunto de partículas con un determinado tamaño y cantidad, en cambio en la definición de la ISO cabría preguntarse si un solo nano-objeto también sería un nanomaterial. Ante esta reflexión, y debido a que un solo nano-objeto no tiene relevancia ni industrial ni en el mercado, se espera presumiblemente que la definición de la ISO sea revisada y podría considerar un término adicional, el de *nanomaterial particulado*, el cual se referiría a aquellos materiales que contengan nano-objetos en una determinada cantidad (European Commission, 2012c).

A continuación se aclaran los siguientes conceptos incorporados en la definición de nanomaterial establecidos por la Agencia Española de Normalización (2010):

- *Partícula*: "Pieza minúscula de materia con límites o bordes físicos definidos".
- *Aglomerado*: "Conjunto de partículas, agregados o mezcla de ambos, débilmente unidas, donde la superficie externa resultante es similar a la suma de las áreas superficiales de los componentes individuales". Un aglomerado se mantiene unido por fuerzas débiles como, por ejemplo, las fuerzas de Van der Waals.
- *Agregado*: "Partículas compuestas por partículas fuertemente enlazadas o fusionadas, donde la superficie externa resultante puede ser significativamente menor que la suma de las áreas superficiales calculadas de los componentes individuales". Un agregado se mantiene unido por fuerzas fuertes como, por ejemplo, los enlaces covalentes.

Otros conceptos básicos de interés han sido tomados de la International Organization for Standardization (ISO) (2011a):

- *Nanoestructura*: "Composición de partes constituyentes relacionados entre sí, en el que uno o más de las partes es una región a nanoescala. Una región se define por el límite que representa una discontinuidad en las propiedades".
- *Material nanoestructurado*: "Material que tiene una nanoestructura interna o superficial. Esta definición no excluye la posibilidad de que un nano-objeto tenga una estructura interna o una estructura de la superficie".
- *Nanomaterial artificial (engineered nanomaterial)*: "El nanomaterial diseñado para un propósito o función específica".
- *Nanomateriales fabricados (manufactured nanomaterial)*: "El nanomaterial producido intencionadamente con un propósito comercial o para tener unas propiedades o composición específicas".
- *Nanomaterial generado de forma involuntaria (incidental nanomaterial)*: "El nanomaterial generado de forma involuntaria por un producto o proceso".
- *Nano-objeto*: "Material con una, dos o tres dimensiones externas comprendidas en la nanoescala". En la Figura 5 se esquematizan los grupos diferentes de nano-objetos.

Nota: El concepto de *nanomaterial generado de forma involuntaria* equivaldría al de *partícula ultrafina*, que se define como aquella partícula con un diámetro equivalente inferior a 100 nm y que no ha sido creadas expresamente. Sin embargo, el término partícula ultrafina se suele intercambiar con el de nanopartícula (Asociación Española de Normalización (AENOR), 2010).

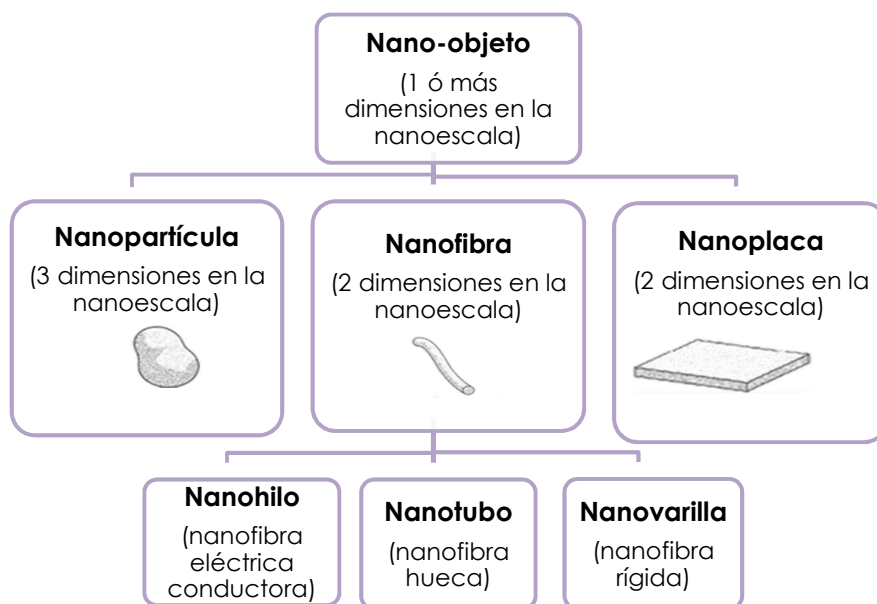
También se indica que en el presente trabajo se utilizará el término nanomaterial para referirnos a los producidos de forma intencional y con unas propiedades determinadas, lo que correspondería con el término inglés *engineered nanomaterial*. Y para el resto de partículas inferiores a 100nm y que no han sido generadas expresamente se utilizará el término partícula ultrafina.

Además, se recogen en la Agencia Española de Normalización (2010) las siguientes definiciones relativas a los tipos de nano-objetos:

- *Nanopartícula*: es un "nano-objeto con las tres dimensiones externas contenidas en la nanoescala".
El término nanopartícula en principio no engloba a los agregados y a los aglomerados, pero según Kaluza *et al.* (2008) son muchos los autores que utilizan el término para englobar a ambos.
- *Nanoplaca*: es un "nano-objeto con una dimensión externa en la nanoescala y las otras dos significativamente mayores. Las mayores dimensiones externas no están necesariamente en la nanoescala".
- *Nanofibra*: son "nano-objeto con dos dimensiones externas similares en la nanoescala y la tercera dimensión significativamente mayor. La mayor dimensión externa no está necesariamente en la nanoescala. Una nanofibra puede ser flexible o rígida".
- *Nanotubo*: "nanofibra hueca".
- *Nanovarilla*: "nanofibra sólida".
- *Nanohilo*: "nanofibra eléctricamente conductora o semiconductora".

En la figura 5, se representa la jerarquía de los tipos de nano-objetos definidos anteriormente.

Figura 5: Fragmento de jerarquía de términos relativos a nano-objetos.



Fuente: Elaboración propia (basada en (Asociación Española de Normalización (AENOR), 2010)

1.3.2 CLASIFICACIÓN Y TIPOS

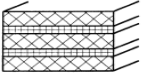
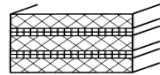
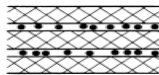
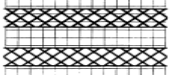
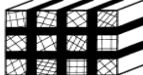
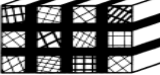
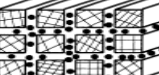
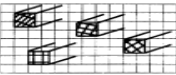


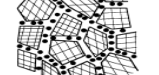
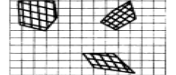
No es tarea fácil clasificar los nanomateriales, ya que éstos no son un grupo uniforme de sustancias y existe una gran diversidad de sustancias y morfologías (Borm *et al.*, 2006). Por ejemplo, existen más de 50.000 tipos diferentes de nanotubos de carbón debido a las diferentes materias primas, procesos de producción y catálisis (P. A. Schulte *et al.*, 2009). Además, la tarea de clasificar los nanomateriales se presenta aún más difícil porque, salvo excepciones, actualmente las propiedades de los nanomateriales no han sido lo suficientemente estudiados. Sin embargo, no cabe duda de que es necesaria una clasificación que nos permita predecir las propiedades del nanomaterial según el grupo catalogado, para asegurar el desarrollo correcto de una ciencia como la nanotecnología (Pokropivny & Skorokhod, 2008). Esta situación ha propiciado la existencia de múltiples clasificaciones para los nanomateriales atendiendo a diferentes puntos de vista y parámetros.

En primer lugar, si se hace en función del origen de las nanopartículas, Rosell & Pujol (2008) distinguen entre las de origen natural y el antropogénico. Las nanopartículas de origen natural pueden serlo de origen biológico -como los virus-, o mineral o medioambiental -como el polvo de arena del desierto o los humos de los fuegos forestales-. Las nanopartículas de origen antropogénico pueden ser creadas de forma involuntaria -como, por ejemplo, las que se originan en los procesos de combustión del diesel o en barbacoas o las generadas de forma deliberada mediante las llamadas nanotecnologías-.

Gleiter (2000) sería el primero en proponer un esquema de clasificación para los materiales nanoestructurados basado en sus formas cristalinas y su composición química, ver Tabla 1. Con un total de 12 clases se considera incompleta porque, por ejemplo, los

nanomateriales de cero y una dimensión no se tienen en cuenta –ver, por ejemplo, los fullerenos o los nanotubos–.

Tabla 1: Clasificación de nanomateriales en función de su composición química y de la dimensionalidad de los cristales.

Categoría de materiales nanoestructurados: Forma de los cristales	Familias de materiales nanoestructuradas Composición química de los cristales			
	Igual	Diferente para cristales	Diferente para cristales y región límite	Cristales dispersos en una matriz de diferente composición
Forma de capa				
Forma de barra				
Cristales equiaxiales				

Fuente: (Gleiter, 2000)

Glezer (2011) propone otra clasificación de los nanomateriales basándose en la naturaleza estructural de los elementos que cambian radicalmente las propiedades de los nanomateriales como: los fragmentos (materiales nanofragmentados), los poros (materiales nanoporosos), los conglomerados (nanoconglomerados o amorfos), las segregaciones atómicas (nanosegregados), las dislocaciones (materiales nanodislocados), los dendritas (materiales nanodendríticos), los elementos en fase de transformación (materiales en nanofase) y los cuasicristales (materiales nanocristalinos). De estos últimos, los materiales nanocristalinos, en función de su mecanismo de deformación plástica, distingue a su vez tres grupos: los nanocristales grandes, medianos y pequeños.

Rosell & Pujol (2008) diferencian las nanopartículas en función del número de dimensiones que la estructura tenga en la nanoescala: tres, dos y una dimensión. Sin embargo, Pokropivny & Skorokhod (2008) van un paso más, y hacen una clasificación también basada en la dimensionalidad, considerarlo un atributo general que integra el tamaño y la forma, pero de una forma más exhaustiva, incluyendo la cero dimensión (nanomateriales tipo fullereno o quantum dots). En la Figura 6 se representa su clasificación con un total de 36 grupos, cada uno designado de la siguiente forma: $kDlmn$, donde k es la dimensión total del nanomaterial y l , m y n la dimensión de las unidades que lo integran. La clasificación ha sido restringida a las 5 principales estructuras ternarias construidas del tipo $kDlmn$ construidas con los tres tipos de unidades elementales.

Figura 6: Clasificación dimensional de nanoestructuras.

Elementary building units :

Nº1. 0D Molecules, clusters, fullerenes, rings, metcarbs, thoroids, domens, particles, powders, grains, schwartzons		Nº2. 1D nanotubes, fibers, filaments, whiskers, spirals, belts, springs, horns, columns, needles, pillars, helicoids, wires, ribbons		Nº3. 2D layers
0D-nanostructures :		Nº4. 0D0 uniform particles arrays	Nº5. 0D00 hetero-geneous particles arrays, "core-shell" dendrimers, onions	
1D-nanostructures :		Nº6. 1D0 molecular chains, polymers		
Nº7. 1D00 heteropolymers	Nº8. 1D1 bundles, ropes, cables, corals	Nº9. 1D11 heterochains, heterocables, saws, hair, heterobundles, junctions, combs, bows		Nº10. 1D10 beads, pea-pods, fullereno-fibers
2D-nanostructures :		Nº11. 2D0 fullerene films	Nº12. 2D1 nanostraw, PhC, fibers films	
Nº13. 2D2 tiling, mosaic, layered films	Nº14. 2D00 heterofilms of heteroparticles, fullerene-powders	Nº15. 2D10 films of pods, fullereno-fibers		Nº16. 2D11 films of fibers and nanotubes, PhC-waveguides
Nº17. 2D20 fullereno-plate films	Nº18. 2D21 bridges, fiber-layer films	Nº19. 2D22 hetero-layers, MOS-structures		Nº20. 2D210 fullerene-fiber-layer films
3D-nanostructures :				
Nº21. 3D0 Fullerenes, clathrates, powder skeletons, log	Nº22. 3D1 skeletons of fibers, nanotubes	Nº23. 3D2 layer skeletons, buildings, honeycombs, foams	Nº24. 3D00 sols, colloids, smogs, heteroparticles composites	
Nº25. 3D10 skeletons of fibers-powders	Nº26. 3D11 skeletons of heterofibers nanotubes	Nº27. 3D20 intercalates, skeletons of layers and powders	Nº28. 3D21 Cross-bar-layers, layer-fiber skeletons	
Nº29. 3D22 heterolayers	Nº30. 3D30 opals, dispersions, particles, pores, fullerenes in matrix	Nº31. 3D31 membranes, PhC, fiber composites, waveguides	Nº32. 3D32 friction pairs, contacts, interfaces, cavities, grain boundaries	
Nº33. 3D210 composites of layers, fibers and particles in matrix	Nº34. 3D310 membranes + impurities, powder-fiber composites	Nº35. 3D320 powder-layers composites	Nº36. 3D321 layers-fibers-composites in matrix, VCSEL	

Fuente: (Pokropivny & Skorokhod, 2008)

Teo & Sun (2007) presentan otra clasificación para los nanomateriales y nanoestructuras heterogéneas acompañada de un sistema de representación de términos y símbolos para categorizarlos y sistematizarlos en función de su composición, forma y distribución, con la intención de que sea adaptable a toda la amplia variedad de nuevos nanomateriales y nanoestructuras heterogéneas que van apareciendo cada vez a un ritmo mayor.

El sistema de representación consiste en complementar los símbolos químicos con sufijos –como, por ejemplo, NW que significa nanohilo-, o con prefijos –como, por ejemplo, a que significan material amorfo-. En la Tabla 2 se listan los símbolos que se utilizan para categorizar los nanomateriales y nanoestructuras heterogéneas en términos de su estructura, describiendo la conexión en términos de su estructura, describiendo la conexión en términos de inclusión o dispersión y orientación entre distintos nanomateriales de pequeñas dimensiones.

Tabla 2: Símbolos que se utilizan para categorizar a los nanomateriales y nanoestructuras heterogéneas en términos de su estructura.

	Símbolos	Representación esquemática
0D en 0D	@	
0D sobre 0D	•	
0D en 1D	÷	
0D sobre 1D	⊂	
1D en 1D (radial)	⊂	
1D sobre 1D (axial)	-	
1D en 1D (biaxial)		
1D sobre 1D (ramificada)	⌋	
1D sobre 1D *(dendrímico)	Y	
0D en 2D	⊥	
1D sobre 2D	-	
1D en 2D		
2D en 2D	/	

*Se complementa con otros símbolos como $G_n\{N\}$; que hacen referencia al número de generaciones y los enlaces que conectan esa generación con la anterior.

Fuente: (Teo & Sun, 2007)

Para finalizar, se indica el análisis realizado por European Commission (2012c) que estudia la clasificación de los nanomateriales según la UE, la ISO y otras disposiciones varias.

Según se desprende de la definición de nanomaterial de la UE (European Commission, 2012c) se pueden establecer 3 grupos:

- **Nano-polvos y polvos nanoestructurado**

La (International Organization for Standardization (ISO), 2011b) define como *polvo* como el conjunto o agrupación de partículas individuales normalmente menores que 1 mm. Por tanto en este grupo se incluyen el polvo de nanopartículas, nanofibras o nanoplácas.

Por otro lado, el *polvo nanoestructurado*, es aquel polvo que contiene aglomerados o agregados nanoestructurados u otras partículas de material nanoestructurado (International Organization for Standardization (ISO), 1999). Como los aglomerados, o agregados nanoestructurados, y otras partículas de material nanoestructurado son la

agrupación de nano-objetos individuales, en esta definición se considera que quedan incluidos en la definición de la UE.

- **Nano-suspensión:** nano-objetos sólidos dispersos en líquido. Un término se que se utiliza comúnmente es el de *coloide*, pero hay que tener en cuenta que el límite superior de las partículas varía según las definiciones.
- **Nanoaerosol (sólido):** nano-objetos sólidos dispersos en gas, moviéndose libremente.

Sin embargo, si se examina la definición de la ISO y otras varias, se puede hacer un compendio sobre los tipos de clasificación que completan e incluyen a los grupos de la definición de la UE:

- **Nano-cápsulas:** partículas con una estructura interna fabricadas a escala nanométrica.
- **Nanocompuestos:** consiste en al menos en un material dos con fases diferentes en el que una al menos tiene características a nanoescala. Por ejemplo, un material de matriz polimérica con una fase de refuerzo de nanotubos de carbón.
- **Nano-emulsión:** nano-objetos líquidos suspendidos en otro líquido
- **Nanoporosos:** materiales sólidos que contienen una fracción pequeña de poros a nanoescala. Si ya tienen mucha fracción de poros se consideran nanoespumas sólidas: son burbujas de gas a nanoescala en un sólido.
- **Nanoespumas líquidas:** son burbujas de gas a nanoescala en un líquido.

En definitiva, los nanomateriales pueden presentarse en suspensión, en estado sólido y con libertad de movimiento, en estado sólido y fijados o embebidos en matriz sólida o superficie (Gerritzen, Huang, Killpack, Murcheva, & Conu, 2006).

1.3.3 TÉCNICAS DE OBTENCIÓN

Como señalan Rosell & Pujol (2008), existen dos métodos para la obtención de nanopartículas: los llamados *top-down* (de arriba abajo), en los que se somete al material a diversos procesos hasta llegar al nanomaterial, y los *bottom-up* (de abajo a arriba), en los que se construyen nanopartículas a partir de átomos o moléculas. En la Figura 7 se muestra un esquema intuitivo sobre en qué sentido trabajan ambas técnicas y su calendario previsto de implantación.

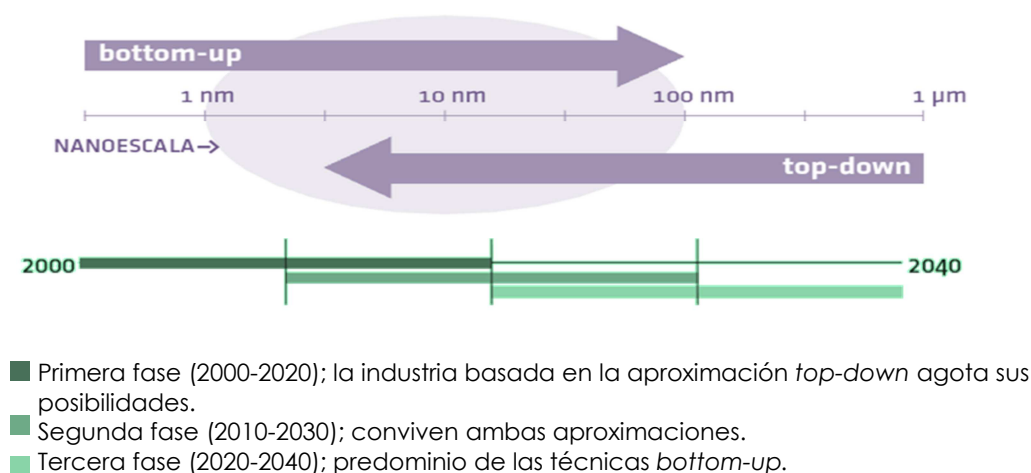
Como se indica en Royal Society and Royal Academy of Engineering (2004), ambas aproximaciones utilizan distintas técnicas.

- Bottom-up:
 - Síntesis química.
 - Auto-ensamblamiento.
 - Ensamblamiento posicional.
- Top down:
 - Litografía.
 - Corte, grabado y molienda.

Ricaud & Witschger (2012) explican que el método *bottom-up* es más rico en términos de materia; es decir, permite una mayor diversidad en su arquitectura y control del estado nanométrico. Esta aproximación ascendente se realiza con procesos de elaboración químicos y físicos. Por otro lado, el método *top-down* permite obtener cantidades de materia más importantes, pero el control del estado nanométrico se muestra más delicado. Esta aproximación descendente se induce, principalmente, con métodos mecánicos. Serena (2010) añade que, en esta última aproximación, se desperdicia más material y se genera también más residuos.

En general, Serena (2010) subraya la necesidad de precisión en la fabricación, ya que cualquier pequeño error provocaría modificaciones geométricas que cambiarían las propiedades del material y no se obtendrían objetos nanométricos con idénticas propiedades.

Figura 7: Esquema ilustrativo del concepto de obtención *Top-down* versus *bottom-up* y su calendario de implantación.



Fuente: (Fundación Phantoms, 2009)

1.3.4 OBSERVACIÓN Y MANIPULACIÓN EN EL NANOMUNDO

Serena (2010) diferencia dos estrategias para el estudio de los sistemas nanométricos. La primera estrategia está basada en el uso de ondas con una longitud de onda mucho menor que la luz visible y con capacidad para interactuar con las nanoestructuras a estudiar –como, por ejemplo, la microscopía electrónica, la difracción de rayos X y las técnicas espectroscópicas–.

- **Microscopio electrónico TEM** (*Transmission Electron Microscopy*): funciona usando haces de electrones emitidos por una afilada punta acelerados con diferencia de potencial a cientos y miles de voltios viajando a través de un sistema al cual se le ha practicado el vacío. El electrón emitido se dirige a lo que queremos enfocar mediante unas potentes lentes electromagnéticas. Los electrones interactúan con la muestra y provocan la emisión de electrones y rayos X. Finalmente la

información es recogida por detectores de gran sensibilidad que generan la imagen en pantalla.

- **Microscopio de emisión de iones FIM** (*Field Ion Microscopy*): este microscopio se desarrolló a partir del TEM, pero ha tenido menor repercusión. El FIM emite iones en vez de electrones.
- **Microscopio electrónico SEM** (*Scanning Electron Microscopy*): también llamado microscopio de barrido de electrones.
- **Difracción de rayos X**: consiste en un bombardeo de electrones sobre un ánodo metálico que interaccionan con la muestra y emergen de la misma siguiendo unas direcciones bien definidas esto da lugar al diagrama de difracción de rayos X, este permite conocer la ordenación de átomos y las distancias entre ellos. Para los casos en los que el número de átomos de la muestra es elevado se puede usar un sincrotrón, una fuente de rayos X más intensa que se basa en un acelerador de gran tamaño que obliga a los electrones de manera magnética a seguir trayectorias curvilíneas a gran velocidad. Los sincrotrones son útiles pero debido al coste de su construcción y operación están al alcance de pocos países, en España está el sincrotrón ALBA en Cerdanyola del Vallès (Barcelona).
- **Las técnicas espectroscópicas**: sirven para acceder a otro tipo de información como la estructura electrónica o la forma en que los átomos vibran. Por ejemplo: la espectroscopía infrarroja, la espectroscopía de Raman, la espectroscopía de Brillouin, la espectroscopía de resonancia magnética nuclear, la fotoluminiscencia, la termoluminiscencia...

La segunda estrategia consiste en aproximar los aparatos de medida al nano-objeto lo más cerca posible, para estudiar las propiedades físicas o químicas *in situ* del mismo. Las técnicas usadas en esta estrategia se conocen como microscopías de campo cercano o SPM (*Scanning Probe Microscopy*) las cuales permiten describir con realismo la realidad en la nanoescala y es fundamental para el diseño de procesos de fabricación.

- **Microscopio de efecto túnel STM** (*Scanning Tunneling Microscopy*): consiste en una punta metálica afilada que se acerca a la superficie que se quiere observar y se aplica un voltaje entre ambas y mide la corriente que pasa de una a otra. Cuanto más se acerca la punta a la superficie se puede observar la muestra mejor, notándose una ligera corriente, llamada corriente túnel originada por la propiedad cuántica del efecto túnel. Al conocer los movimientos de la punta metálica se determina la topografía de la superficie en la que se distingue con nitidez átomos, moléculas y otros nano-objetos. Con el STM se pueden realizar movimiento con precisión de centésimas de nanómetro (nanocontrol), esto se logra con unos sistemas basados en materiales piezoeléctricos que son capaces de deformarse al aplicarles una diferencia de potencial.
- **Microscopio de fuerzas atómicas AFM** (*Atomic Force Microscope*): utiliza como sonda una punta situada en el extremo de una palanca de metal de dimensiones micrométricas la cual refleja la luz de un rayo láser que se hace incidir sobre ésta. Esta palanca según sienta fuerzas repulsivas o atractivas se flexionará modificando el haz de luz láser. El AFM permite observar materiales aislantes, conductores, medios líquidos y material biológico in vivo. El AFM está más extendido que el STM.

- **Microscopio SNOM** (Scanning Nearfield Optical Microscopy): se basa en las medidas de la luz en lugar de corrientes o fuerzas mediante una fibra óptica que se acerca a distancias nanométricas que se desea explorar.
- **Trampas ópticas:** también llamadas pinzas ópticas, utilizan unos o varios haces láser para crear una trampa de donde el nano-objeto no puede escapar. Con las pinzas se puede manipular, seguir los movimientos y medir las fuerza involucradas de virus, bacterias...

1.3.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS NANOMATERIALES

Serena (2010) explica que el interés que despiertan las cosas pequeñas es porque la nanotecnología puede ofrecer materiales y dispositivos formados por objetos diminutos con nuevas y extraordinarias propiedades, ver la Tabla 3. Este comportamiento distinto de la materia en la nanoescala se explica por los efectos clásicos y cuánticos del tamaño.

Los efectos clásicos del tamaño se manifiestan cuando disminuye el tamaño de un objeto. Esto produce un aumento de su superficie relativa así como la proporción de átomos que se encuentran en la superficie de frontera. Estos átomos no poseen el mismo entorno que aquellos que están en el interior (en el volumen) de los cuerpos, lo que explica que se comportan de forma distinta manifestando propiedades distintas.

En cuanto a los efectos cuánticos de tamaño, indicar que el mundo nanométrico se rige por unas reglas diferentes a las del mundo macroscópico, la *mecánica cuántica*. Las propiedades físicas y químicas de un sistema dependen de la estructura electrónica de su sistema que está formada por unos niveles de energía perfectamente definidos en los que se acomodan un cierto número de electrones. Estos niveles de energía son muy sensibles a pequeños cambios en el tamaño o la forma del sistema, por lo que si se modifican estos parámetros, los niveles de energía variarán así como las propiedades físicas o químicas del sistema.

Tabla 3: Propiedades que manifiestan cambios al reducir de las partículas

Propiedades	Influencia de la reducción del tamaño en las propiedades de las nanopartículas
Estructurales *	Decremento o incremento del parámetro de red. Transformaciones estructurales.
Mecánicas *	Mejora de la dureza, resistencia. Aparición de súper-plasticidad. Aumento de la resistencia al desgaste. En objetos de pequeñas dimensiones los defectos como las dislocaciones, con una extensión característica y condicionante del comportamiento plástico y la maleabilidad del material, no pueden desarrollarse porque no tienen espacio suficiente para desarrollarse, proporcionando al objeto de una gran rigidez (Serena, 2010).
Ópticas *	Difracción e interferencias ópticas Incremento de la absorción en el rango ultravioleta Oscilaciones en la absorción óptica Aparición de propiedades ópticas no lineales.
Cinéticas *	Incremento del coeficiente de difusión. Fuerte disminución de la conductividad térmica bajo un tamaño crítico. Oscilación de coeficientes cinéticos.
Eléctricas/Electrónicas **	Conductividad Capas dieléctricas Superconductividad Termoelectricidad Almacenamiento de energía electromecánica
Químicas **	Súper-hidrofilia Súper-hidrofobia Protección frente a la corrosión Actividad catalítica Protección al fuego Protección a llamas Capacidad de adsorción Fuerza de adhesión Capacidad de disolución
Térmicas **	Protección frente a temperaturas Aislante térmico Conducción del calor Almacenamiento del calor
Magnético **	Materiales magnéticamente blandos Magnetoelectrónica
Biológico **	Efectos antimicrobianos Biodisponibilidad Biocatálisis Biocompatibilidad Permeabilidad celular

Fuente: * Basada en (Pokropivny & Skorokhod, 2008) y ** (Luther & Bachmann, 2009)

Según (Organisation for Economic and Co-operation and Development (OECD) (2008), los nanomateriales manufacturados más representativos con uso comercial, o que lo están cerca, son los fullerenos (C₆₀), los nanotubos de carbón de pared simple, los nanotubos

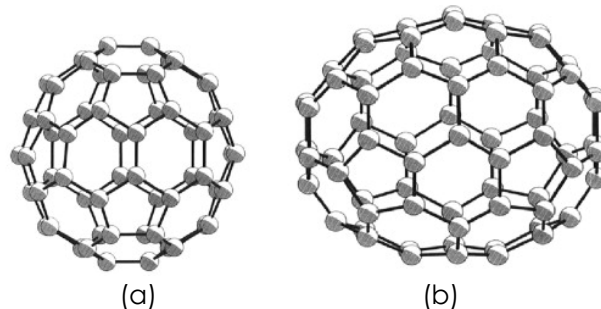
multipared de carbón, las nanopartículas de plata, las nanopartículas férricas, el negro de carbón, el dióxido de titanio, el óxido de aluminio, el óxido cerio, el dióxido de silicio (sílice amorfo sintético), el poliestireno, los dendrímeros y las nano-arcillas.

FULLERENO (C₆₀)

Como indica Serena (2010), los fullerenos son estructuras formadas por átomos de carbono. Pueden presentar más de un millar de estructuras con formulaciones distintas – como, por ejemplo, el C₆₀ y C₇₀ –, ver la Figura 8.

La molécula C₆₀ es la más popular, tiene 12 caras pentagonales y 20 hexagonales, por lo que su estructura recuerda a un balón de fútbol. Estas moléculas forman una red cristalina con una estructura cúbica en las caras, en la que cada molécula está separada de la más cercana por un 1nm y se mantienen unidas por las fuerzas de Van Der Waals. El nombre de fullereno, aunque inicialmente buckminsterfullerene, es debido al parecido de estas estructuras a las cúpula geodésicas del arquitecto e inventor R. Buckminster Fuller (Poole & Owens, 2007).

Figura 8: C₆₀ (a) y C₇₀ (b).

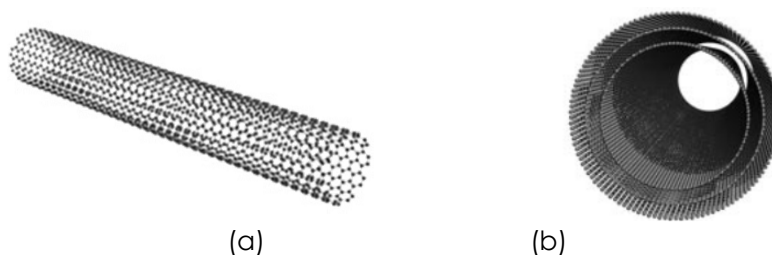


Fuente: (Qaiser, Khan, Singh, & Khan, 2013)

NANOTUBOS DE CARBÓN

Los nanotubos de carbón son tubos que consisten en uno o más hojas concéntricas de átomos de carbono organizados de la misma manera de los átomos de carbono del grafito ordinario, como se muestra en la Figura 9 (European Commission, 2012c).

Figura 9: Esquemas de un nanotubo de carbón de pared simple (a) y nanotubo de carbón multipared (b)



Fuente: (Royal Society and Royal Academy of Engineering, 2004)

Existen una gran variedad de nanotubos de carbono con propiedades diferentes dependiendo del diámetro y la *quiralidad* del tubo. La quiralidad se refiere a cómo se enrollan los tubos respecto a la dirección del eje T en el plano del grafito (Poole & Owens, 2007). Por ejemplo, los nanotubos pueden mostrar carácter metálico o semiconductor según su geometría (Serena, 2010).

Entre las propiedades más interesantes de los nanotubos de carbono destacan su resistencia, pues son 100 veces más fuertes que el acero, y la conductividad térmica, que es la más alta conocida, así como sus extraordinarias propiedades electrónicas, lo que ha permitido su aplicación en infinidad de usos (Martín, 2011).

Poole & Owens (2007) indican diferentes métodos de obtención de nanotubos de carbón:

- Evaporación láser: obteniendo tubos de 10-20nm de diámetro y 100µm de largo.
- Métodos de arco de carbono: si en el proceso se incorpora como catalizador una pequeña cantidad de cobalto, níquel o hierro se obtienen nanotubos de carbón de pared simple (SWCNT) y en caso contrario se obtendrían nanotubos de carbón de multipared (MWCNTs).
- Deposición química de vapor: este método produce tubos abiertos por los extremos y por tanto permite la fabricación continua, la cual sería más favorable para la producción.

NANOPARTÍCULAS DE PLATA

Las nanopartículas de plata pueden ser sintetizadas por métodos físicos y químicos. En los métodos químicos están basados en la reducción de la plata con solventes y con la presencia de surfactantes para evitar la aglomeración. (Cushing, Kolesnichenko, & O'Connor, 2004; J. Park, Joo, Kwon, Jang, & Hyeon, 2007) Dependiendo de éstos, las reacciones modifican el tamaño, la forma y la morfología de las partículas (Pastoriza-Santos & Liz-Marzan, 2002; Sun & Xia, 2002; Sun, Gates, Mayers, & Xia, 2002).

NANOPARTÍCULAS FÉRREAS

Hay varios tipos de nanoformas de óxidos férricos, los más comunes son: la nanoforma hematita (Fe_2O_3) y la nanoforma maghemita (Fe_3O_4).

NEGRO DE CARBÓN

El negro de carbón es un polvo negro consistente en carbón amorfo, que se fabrica con una combustión de hidrocarburos incompleta y controlada. Existen diferentes tamaños que van desde 1 nm hasta 100 nm, que suponen 95% de la producción global. También se pueden presentar con tamaños de hasta 500 nm (European Commission, 2012c).

DIÓXIDO DE TITANIO

El polvo de dióxido de titanio existe tanto en tamaño a granel como en nanoforma, así como con distintas modificaciones cristalinas, incluyendo el Rutilo y Anatasa, siendo esta última nanoforma más reactiva que la de granel (European Commission, 2012c).

ÓXIDO CERIO (CeO₂)

El óxido de cerio es un óxido de tierras raras (European Commission, 2012c).

SÍLICE AMORFO SINTÉTICO (DIÓXIDO DE SILICIO, SiO₂)

Hay varios tipo de formas de sílice amorfo sintético, como el sílice precipitado, el gel de sílice, la sílice coloidal y la sílice pirogénica (humo de sílice) (Theodore & Kunz, 2005) .

DENDRÍMEROS

Es una estructura molecular en forma de árbol similar a los polímeros. Se caracteriza por tener gran superficie específica (European Commission, 2012c).

NANO-ARCILLAS

Nano-arcillas son nanopartículas de silicatos minerales en capas, tales como montmorillonita, bentonita, caolinita, hectorita, y halosita (Patel, Somani, Bajaj, & Jasra, 2006).

POLIESTERENO

Sólido incoloro en diversas formas (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2003).

ÓXIDO DE ALUMINIO (Al₂O₃)

Tiene aspecto de polvo blanco y existe diferentes formas: la cristalina y la dura de óxido de aluminio que aparece abundantemente en la naturaleza conocida como corindón (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 1994).

Además, European Commission (2012c) identifica otros nanomateriales importantes como: óxido de zinc (ZnO), hidróxido de aluminio (Al(OH)₃) y oxo-hidróxidos de aluminio (AlO(OH)), dióxido de zirconio (ZrO₂) carbonato cálcico (CaCO₃) nanopartículas de oro (Au) y el grafeno, material de rabiosa actualidad.

Además (European Commission, 2012c) CI identifica otros nanomateriales importantes como: óxido de zinc (ZnO), hidróxido de aluminio (Al(OH)₃) y oxo-hidróxidos de aluminio (AlO(OH)), dióxido de zirconio (ZrO₂) carbonato cálcico (CaCO₃) nanopartículas de oro (Au), el grafeno y polímeros (en general) y quantum dots.

Otros nanomateriales que también son tenidos en cuenta pero con menor repercusión son de: sulfato de bario, titanato de estroncio, carbonato de estroncio, óxido de indio y estaño y óxido de la lata del antimonio (ATO), titanato de bario, platino, aleación de platino y paladio, nanopulvos de cobre, nanopartículas de níquel, cobalto, manganeso, molibdeno, tungsteno, lantano, litio, nitruro de aluminio, nitruro de silicio, nitruro de titanio, carbonitruro de titanio, carburo de tungsteno, sulfuro de tungsteno y el titanato de bario, el cual está presente en la relación de los nanomateriales más usados en la encuesta de Jacquet (2012), así como también son citadas las nanopartículas orgánicas en la encuesta realizada por Schmid & Riediker (2008).

1.4 BENEFICIOS DE LA NANOTECNOLOGÍA

La principal aportación de la nanotecnología es su capacidad de poder controlar a voluntad, y controlar las extraordinarias propiedades de las partículas en el rango nanométrico, para obtener nuevos materiales y productos que podrán ser utilizados en múltiples áreas de aplicación (Kaluza *et al.*, 2008; Serena, 2010; Tanarro, 2010).

Debido al carácter multidisciplinar de la nanotecnología existen un sinnúmero de aplicaciones (las más significativas e interesantes se identifican a continuación) en distintos campos y sectores.

Esto ha despertado una amplia euforia sobre los beneficios que se espera de la nanotecnología a la sociedad, fomentando visiones utópicas de la misma (Serena, 2010).

DEPORTE

La nanotecnología tiene cada vez más protagonista en el material deportivo. Por ejemplo al incorporar nanotubos de carbono a las raquetas de tenis estas incrementan su resistencia a torsión y flexión. Otro ejemplo son las pelotas de tenis, las cuales al revestir su interior con nanocompuestos de arcilla y polímeros, tienen una mayor vida útil que las convencionales (Lauterwasser, 2013). Los nanotubos también se aplican en bastones de esquí y cuadros de bicicletas (Serena, 2010).

También se podría utilizar fullerenos para incluirlos como aditivos en los polímeros usados en raquetas o bolas de golf (European Commission, 2012c).

COSMÉTICA

P. Singh & Nanda (2012) afirman rotundamente que el campo de la cosmética es donde la nanotecnología ha irrumpido con más fuerza.

Sin embargo, no es fácil identificar el número de cosméticos, protectores solares y productos del cuidado personal, debido a la ausencia de obligación a indicarlos en su etiquetado y la negativa en general por parte de los fabricantes a indicarlos. Por ejemplo, el uso de nanopartículas en los protectores solares transparentes se reveló al encuestar a distintas empresas. El TiO_2 y ZnO han sido utilizados habitualmente en los protectores,

confiriéndole un color blanco a los mismos; sin embargo, los protectores transparentes tienen nanopartículas de TiO_2 y ZnO para darle esa atractiva característica (Which?, 2008).

Algunas aplicaciones en el campo de la cosmética son:

- Los fullerenos se pueden utilizar en cosméticos para coloridos oscuros o cremas faciales antiedad (European Commission, 2012c).
- El sílice amorfo sintético, se utiliza para la pasta de dientes y el gel sintético de sílice se utiliza para polvo faciales cosméticos (European Commission, 2012c).
- Por las propiedades microbianas de la nano-plata, se utilizan también en cosmética de aseo personal (Woodrow Wilson Centre, 2013c).

Para la formulación de cosméticos se utilizan nano-arcillas (Patel *et al.*, 2006) .

TEXTILES

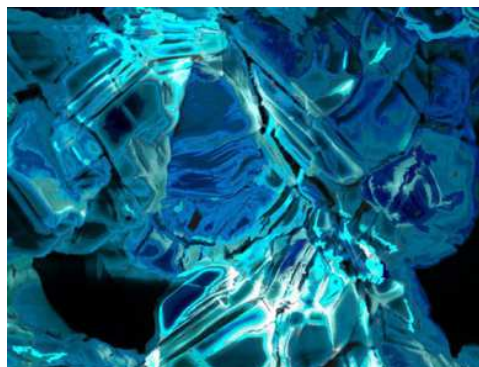
Se pueden obtener textiles que incorporan nanotecnología para mejorar sus propiedades: tejidos más transpirables, impermeables y que, incluso, impiden la formación de arrugas y repelen las manchas (Lauterwasser, 2013).

En la industria textil se utiliza el sílice amorfo sintético (European Commission, 2012c) y las nanopartículas de plata por sus propiedades antimicrobianas se emplean para textiles del hogar o ropa (calcetines o calzado) (Woodrow Wilson Centre, 2013c).

ARTE

El Arte también se revoluciona con la nanotecnología. (Orfescu, 2013) C1 define al nano-arte como "una disciplina del arte en las intersección del Arte, la Ciencia y la Tecnología". En el nano-arte se trabaja capturando las imágenes que se obtienen mediante los microscopios de laboratorio y después éstas son procesadas a través de distintas técnicas para convertirlas en obras de arte y exhibirlas. En la Figura 10 se muestra un ejemplo de estas imágenes tratadas y concebidas como nano-arte. La fuente de inspiración para paisajes se puede encontrar en estructuras naturales de la materia a escala atómica y molecular así como la materia prima para esculpir una figura puede ser la propia materia a escala atómica.

Figura10: Nanopartículas de grafito



Fuente: Cris Orfescu (Nanotechnology Now, 2013).

En el panorama actual hay nano-artistas -como Alessandro Scali y Robin Trevor-Goode- que utilizan principalmente técnicas litográficas (Scali & Treevor, 2013) y otros, como Juan Antonio Lleó, que a través de su proyecto *Nanoosfera* nos ofrece imágenes con una paleta de colores intensa, teniendo en cuenta aspectos estéticos, para conseguir una mejor comprensión del objeto observado (Lleó, 2012).

Además, hay numerosas plataformas web de nano-arte como Nanohedron (Nanohedron, 2009), NanoArt 21 (NanoArt21, 2013) así como concursos de nano-arte, como SPMAGE07 y SPMAGE09 promovidos entre otros por el Centro Superior de Investigaciones Científicas (SPMAGE, 2013).

MOBILIARIO

Como señala Broekhuizen (2012) el uso de los nanomateriales en el sector del mueble se encuentra en una fase temprana de desarrollo, pero con potentes aplicaciones como las siguientes:

- El nano SiO_2 (cristal líquido) se aplica para obtener revestimientos más fáciles de limpiar, repelentes al aceite y antigraffiti. También se aplica en lacas altamente resistentes a arañazos o en revestimientos, como se aprecia en la Figura 11, para proteger de la erosión y el desgaste a metales, madera o piedra, como se aprecia. El nano SiO_2 protege a la madera de ataques de organismos patógenos.
- La nano-plata y el nano- TiO_2 permiten obtener superficies de mobiliarios higiénicas, por sus propiedades bactericidas o autolimpiables.
- El nano- TiO_2 , el nano- ZnO y el nano- CeO se usan como agentes bloqueadores de rayos ultravioleta, por ejemplo, en revestimientos de madera.

Figura11: Superficie pulida de un tablero de densidad media, con una capa superior de bambú, tratada con una capa altamente resistente a los arañazos y basada en nano- SiO_2 .



Fuente: (Broekhuizen, 2012)

CONSTRUCCIÓN

Aunque la nanotecnología permite desarrollar nuevos productos para la industria de la Construcción, y existen empresas que los ofertan, en realidad sólo una pequeña parte se llega a incorporar al proceso constructivo real (Bartos, 2009).

Comparado con otros sectores, la industria de la Construcción no ha explotado aún de forma plena las aplicaciones que la nanotecnología le puede ofrecer. Bartos (2009)

justifica esta situación porque el sector de la Construcción normalmente ha adoptado y explotado ideas e inventos que han sido aportados por otras ciencias e industrias, en vez de ser ella misma la generadora de ideas y por tanto tradicionalmente se ha invertido poco en innovación y desarrollo. Por otro lado, el alto nivel de capital inicial que requiere la dotación de nano-instrumentación para la investigación y desarrollo técnico no es motivador porque los beneficios comerciales se obtendrían a un mediano-largo plazo.

Mann (2206) realizó una encuesta a investigadores, ingenieros, constructores y arquitectos de todo el mundo, entre los que participaron 5 españoles, con el objetivo de entender el estado del conocimiento, progresos y aplicaciones de la nanotecnología en el sector de la Construcción. El cuestionario se gestionó por email y por fax y obtuvo un total de 20 respuestas. De esta investigación se desprende la falta de conocimiento sobre la nanotecnología por parte del sector industrial y de la falta de conexión entre investigación e industria, poniendo de relieve que se desconoce por parte de la industria de la Construcción lo que la nanotecnología puede hacer por ella.

Broekhuizen & Broekhuizen (2009) indica que la falta de éxito de los nanoproductos en la Construcción es que los costes de los nanomateriales y, por tanto, de los nanoproductos, son más caros que las alternativas actuales. Por tanto, si el rendimiento de los productos existentes es aceptable, podrían no ser competitivos los nanoproductos. También la incertidumbre sobre su correcto rendimiento técnico le resta competitividad comercial como con cualquier nuevo producto, por ejemplo a la hora de aplicar nanomateriales en los hormigones. Pero principalmente la falta de éxito de los nanoproductos se debe a la ausencia de consciencia de los agentes involucrados en el sector sobre las posibilidades de introducir nanoproductos en el sector de la construcción.

Nanoforum, es la red temática financiada por el Quinto Programa Marco de la UE (5PM) que proporciona una fuente completa de información sobre todas las áreas de la nanotecnología para los negocios y las comunidades científica y social. Algunas de las aplicaciones que se destacan en Mann (2006) son:

Hormigones, cemento y morteros

- La Sílice (SiO_2) está presente en el hormigón convencional; sin embargo, la adición de nano- SiO_2 , lo que se conoce como humo de sílice, genera las siguientes propiedades: mejora las propiedades mecánicas del hormigón, controla la degradación del silicato cálcico hidratado (CSH) densificando el hormigón y haciéndolo impermeable, se mejora la resistencia del hormigón en las primeras fases.
- Además de la adición del humo de sílice, las nanopartículas de hematita Fe_2O_3 también aumenta la resistencia del hormigón. Además, midiendo la resistencia eléctrica se podría monitorizar los estados de tensión en el hormigón.
- El dióxido de titanio TiO_2 , añadido como nanopartícula, tiene propiedades bactericida porque descompone los contaminantes orgánicos por lo que aplicado en la superficie puede reducir la contaminación ambiental, como consecuencia de las reacciones fotocatalíticas.
- Una pequeña cantidad de nanotubos de carbono (1%) puede mejorar las propiedades mecánicas del hormigón, siendo los nanotubos de pared múltiple los que muestran mejores valores en resistencia a compresión y a flexión. Sin embargo, existen problemas en la adición de los nanotubos de carbono debido

a la falta de cohesión de éstos con el hormigón, ante esto la previa dispersión previa en goma arábiga mejora la adherencia. Es necesario seguir trabajando para establecer los valores óptimos de nanotubos de carbón y los agentes que servirían como vehículo.

- El mortero proyectado se utiliza para dotar de resistencia al fuego de las estructuras de acero. Para ello, es necesario dar capas gruesas que tienen a ser frágiles y necesitan de otras adiciones para mejorar su adherencia. Sin embargo, añadiendo nanotubos de carbono al cemento se obtendría un material rígido, resistente al fuego y duradero. Una opción más económica consiste en añadir fibras de polipropileno para aumentar la resistencia al fuego.
- Por último, European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA) (2013b) también cita la utilización de nanopartículas de dióxido de zirconio como aditivo del cemento.

Vidrio

Respecto de las aplicaciones en los vidrios, Mann (2006) enumera las siguientes:

- Utilizando nanopartículas de dióxido de titanio TiO_2 se obtienen vidrios *autolimpiables*; es decir, los contaminantes orgánicos que se adhieren a la superficie se descomponen y son retirados del cristal con el contacto del agua. Esto se debe a las propiedades bactericidas e hidrofílicas del dióxido de titanio.
- Colocando una capa intermedia de humo de sílice en el vidrio, éste se vuelve muy resistente al fuego, volviéndose rígido y opaco cuando el fuego lo calienta.
- Se están desarrollando distintas aplicaciones para dotar a los vidrios de capacidad para poder controlar la luz y el calor que pasa a través de ellos. Como solución pasiva, por ejemplo, para revestimientos con el potencial de filtrar las frecuencias infrarrojas y, como soluciones activas, se están desarrollando revestimientos electrocromáticos los cuales se oscurecen al aplicarles corriente eléctrica y los cristales con tecnología termocrómicos, que cambian de opacidad según la temperatura y aíslan térmicamente.

Madera

- Se utilizan nanopartículas de óxido de cobre como conservante de la madera (European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA), 2013b).

Pinturas

- Se utiliza negro de carbón para pigmentos (European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA), 2013b).
- También la adición de nanotubos de carbono a las pinturas para barcos permite que las algas y percebes no se adhieran al casco del barco, evitando así gastos de mantenimiento, combustible y la sustitución de los revestimientos anteriores, que eran peligrosos para la vida marina (Senjen, 2009).
- Para dar mayor resistencia a arañazos y dar mayor dureza, se utiliza nano- SiO_2 en las pinturas, barnices y pigmentos con nanopartículas de plata para conferirle carácter bactericida a las mismas (Senjen, 2009).

- También se utilizan nano-arcillas como aditivo en las pinturas (Patel *et al.*, 2006).

Aislante

- Se utiliza la sílice coloidal como aislante acústico en la Construcción (European Commission, 2012c).

MEDIO AMBIENTE

Con la nanotecnología es posible mejorar la calidad del agua. Por ejemplo, se utilizan nanopartículas de distinta naturaleza química a modo de absorbente para aprovechar su afinidad con los contaminantes del agua y así eliminarlos (Q. Li *et al.*, 2008). Para el tratamiento de aguas residuales, se pueden utilizar nano-arcillas (Patel *et al.*, 2006) . También se aprovecha el potencial como catalizador oxidativo y reductor de algunas nanopartículas, como el TiO_2 , para purificar el agua (Adesina, 2004). Otro método de purificación del agua es a través de la nanofiltración, que combinado con la ósmosis inversa se puede obtener agua potable a partir de la salada (Mohsen, Jaber, & Afonso, 2003) . Por último, Serena (2010) añade que, aunque la nanotecnología tiene propuestas sofisticadas y costosas, hay aplicaciones para el tratamiento del agua que no son excesivamente caras y que podrían ser desarrolladas por países más desfavorecidos (con lo cual se derivarían consecuencias positivas para ellos).

Las nanopartículas podrían utilizarse como sensores para detectar analitos. Por ejemplo, utilizando nanoestructuras inspiradas en los corales de dióxido de estaño con nanopartículas de TiO_2 , se pueden detectar contaminantes en el aire –como, por ejemplo, el tolueno (Wan *et al.*, 2012)-. También las nanopartículas pueden emplearse para la descontaminación de suelos –como, por ejemplo, las nanopartículas de hierro, que pueden reducir el contenido de bifenilos policlorados (PCB) (Varanasi, Fullana, & Sidhu, 2007) - .

La nanotecnología, en definitiva, puede ser clave para el medio ambiente ya que con la nanotecnología sería posible optimizar los recursos como consecuencia de la utilización, fabricación y control de cantidades precisas de materia a nanoescala. Además, se minimizaría la energía para la fabricación así como los residuos o su transporte. En suma, la nanotecnología podría ser la clave para paliar la contaminación tanto en tierra, agua y aire que sufre el planeta (Serena, 2010).

ALIMENTACIÓN

En la industria de la alimentación ya se emplea la nanotecnología para la conservación, envasado y empaquetado de alimentos. Por ejemplo, un recipiente fabricado con un material nanocompuesto con nanopartículas de arcilla evita la pérdida de agua y las nanopartículas de plata evitan la proliferación de bacterias. La nanotecnología también permite controlar los sabores y texturas de los alimentos; por ejemplo, las nanoesferas de grasa, cuyo interior está lleno de agua, permiten que el consumidor perciba el mismo sabor siendo menor el contenido graso. Gracias al desarrollo en la alimentación, los ventajas tanto en países desarrollados como en los industrializados son importantes ya que las enfermedades disminuirán y aumentaría la esperanza de vida (Serena, 2010).

AGRICULTURA

Bouwmeester et al (2009) señalan algunas aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura. Por ejemplo, con nanosensores se detectan contaminantes y microorganismos o nanopesticidas para proteger a las plantas de agentes patógenos. Otra aplicación potencial de las nanopartículas es su utilidad a la hora de obtener una mayor productividad de los productos agrícolas, ya que éstas influyen en la germinación y crecimiento de las plantas. Por ejemplo, Zheng, Hong, Lu, & Liu(2005) concluyeron que las semillas tratadas con nano-TiO₂ aumentan la velocidad de germinación así como las nanopartículas metálicas (Si, Pd, Au y Cu) en la germinación de la lechuga (Shah & Belozeroval, 2009). También es utilizada la sílice precipitada en los productos agrícolas (European Commission, 2012c).

ENERGÍA

La nanotecnología también podría mejorar la eficiencia de las células fotovoltaicas. Las basadas en el silicio, pueden tener una eficiencia en torno al 12-14%; otros, como el arseniuro de galio, un 24% pero con un coste mayor. Las técnicas de nanofabricación permitirían integrar en las células otros semiconductores como GaInAs, GaInGe... llegando a alcanzar en laboratorio eficiencias superiores al 40% (Serena, 2010). Pero son los fullerenos los que representan sin duda las mejores propiedades para las aplicaciones fotovoltaicas (Martín, 2011).

Las líneas de alta tensión tienen pérdidas de cerca del 10% de la energía que transporta, más las pérdidas de los transformadores de las subestaciones eléctricas. Y es que a pesar de que se conocen superconductores cerámicos como las perovskitas, éstas no tienen flexibilidad y manifiestan vórtices, unas estructuras que al desplazarse incrementan la resistencia eléctrica. Este problema de baja eficiencia del transporte eléctrico se podría solventar si se disponen capas nanométricas de material superconductor de manera nanoestructurada, formando estructuras rectangulares alineadas, sobre otra flexible de forma que se evita también el aumento de la resistencia (Serena, 2010).

De nuevo señala Serena (2010) los importantes beneficios que reportarían el desarrollar en países desfavorecidos la producción de electricidad, por ejemplo a través de la fotovoltaica.

ELECTRÓNICA

Para la racionalización del consumo final, la nanotecnología proporciona una herramienta para diseñar nuevo dispositivo y materiales como el diodo de emisión láser LED, con menor consumo, mayor duración y menor tamaño o los materiales fotocromáticos, que cambia de coloración en presencia de luz (Serena, 2010).

MEDICINA

Lauterwasser (2013) indica que los nanomateriales tienen mucho potencial en la nanomedicina. Uno de sus atributos es la capacidad de distribuirse por todo el organismo y entrar en las células e interactuar con las biomoléculas, tanto en su superficie como en su interior. Serena (2010) añade que esta capacidad permite que algunos inconvenientes de los fármacos actuales -como su escasa solubilidad, la formación de precipitados sólidos, la

rápida eliminación del hígado o la distribución por todo el organismo causando efectos no deseados- sean resueltos con la liberación controlada de fármacos ya que el principio activo se hace llegar a través de un transportador o vehículo. Por ejemplo, hoy en día se emplean, las nanopartículas de albúmina con paclitaxel para tratar el cáncer de mama.

Otras aplicaciones potenciales de la nanomedicina son los diagnósticos, los tratamientos y la prevención de enfermedades. Además, la nanotecnología puede aportar nuevos biomateriales para implantes o para la regeneración de tejidos (Kale, 2009).

En la nanomedicina se depositan grandes esperanzas y se confía en que reporte grandes beneficios a la Salud. Aunque de momento muchas aplicaciones se está fraguando, algunos autores lanzan visiones utópicas sobre los futuros beneficios que traerá. Así, Freitas (1999) predice la fabricación de nanomáquinas que viajarán a través del torrente sanguíneo para limpiar los depósitos de grasa y reducir la probabilidad de enfermedades cardiovasculares, así como también la utilización en el cuerpo humano de nanorobots para luchar contra ataques víricos, promoviendo una medicina preventiva diferente.

A continuación se destacan algunas aplicaciones que ya son usadas en el sector de la Sanidad (European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA), 2013a):

- Los nanopartículas metálicos -como el oro, plata y el óxido de hierro Fe_2O_3 -, se utilizan para el tratamiento del cáncer con hipertermia, para el transporte de fármacos y como agentes de contraste en la resonancia magnética.
- Las nanopartículas de plata sirven como agentes antimicrobianos y puede incorporarse a un amplio rango de dispositivos médicos e instrumentos quirúrgicos.
- Los fullerenos, los dendrímeros y las partículas cerámicas se usan para el transporte de fármacos.
- Los nanotubos de carbono se utilizan en aplicaciones biomédicas, tales como stents o en terapias genéticas donde se toma una cadena de ADN unida a un nanotubo.
- Los quantum dots se utilizan para el diagnóstico de enfermedades y en tecnologías de detección.

TRANSPORTE

Como se señala Observatory NANO (2010) la nanotecnología puede mejorar el sector automovilístico y aeronáutico, desarrollando productos nuevos y competitivos. Los objetivos que, principalmente, se persiguen son el incremento de la eficiencia del combustible, la seguridad, la reducción de la huella medioambiental y los costes de producción. También se trabaja en mejorar el confort en el vehículo, utilizando, por ejemplo, textiles repelentes a la suciedad, cristales antirreflejos y fotocromicos. Algunos ejemplos de aplicaciones son los siguientes:

- Para reducir las pérdidas mecánicas y de energía se pueden utilizar, entre otros, revestimientos con carburos metálicos y nitridos, capas de carbono tipo diamante (DLC Diamond like carbón) o revestimientos sol-gel, en la piezas del vehículo para incrementar su resistencia al rallado, a la fricción y su dureza.
- En las situaciones en las que se requieren buenas propiedades térmicas y químicas -como, por ejemplo, para evitar la corrosión o proteger los motores y

turbinas de las altas temperaturas-, se pueden utilizar nanocapas de óxidos metálicos, carburos y nitritos o monocapas orgánicas autoensamblantes.

Por otro lado, la European Commission (2012c) señala que:

- El sílice amorfo sintético se utiliza en la goma de los neumáticos.
- El óxido de aluminio se utiliza también para los neumáticos.

MILITAR

Los nanomateriales se usan también en el campo militar, algunas aplicaciones son: maquillaje de camuflaje, bio-armas, uniformes de combate más resistentes y ligeros, armas con uranio empobrecido o para explosivos (AC/UNU Millennium Project, 2004).

TRANSHUMANISMO

El transhumanismo considera que la naturaleza humana está en proceso de cambio y que, con el uso responsable de la Ciencia y la Tecnología, se puede llegar a ser posthumanos (*Homo excelsior*) teniendo mayores capacidades potenciales que su antecesor (*Homo sapiens*) (Bostrom, 2002; Hughes, 2001).

Según (Humanity Plus, 2013), anteriormente conocida como *World Transhumanist Association*, se define transhumanismo de la siguiente manera:

Es el movimiento intelectual y cultural que afirma la posibilidad y la conveniencia de mejorar fundamentalmente la condición humana a través de la razón aplicada, especialmente a través del desarrollo y la utilización de tecnologías ampliamente disponibles para eliminar el envejecimiento y mejorar en gran medida las capacidades humanas intelectuales, físicas y psicológicas.

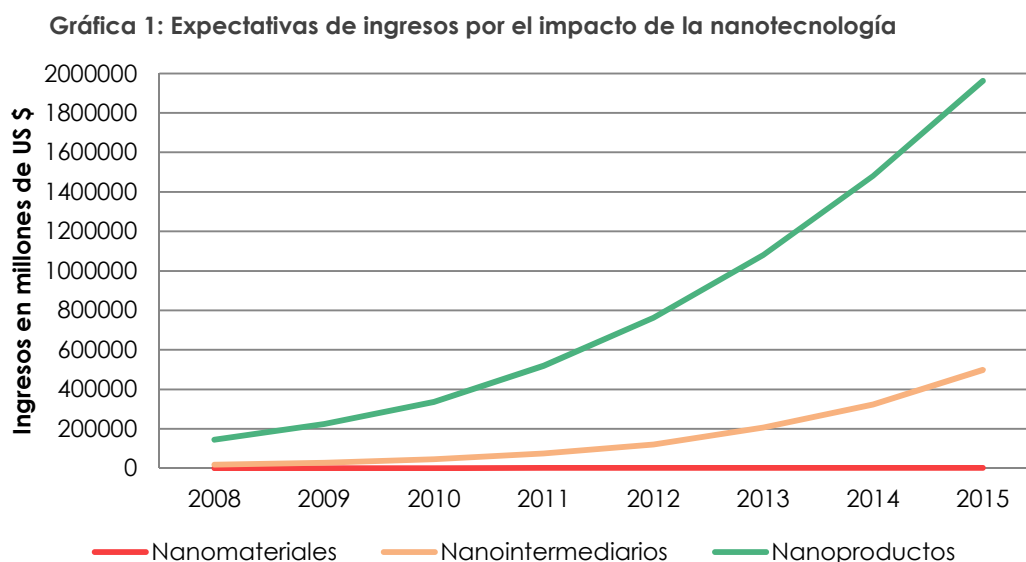
Es el estudio de las ramificaciones, promesas y peligros potenciales de las tecnologías que permiten superar las limitaciones humanas fundamentales, y el estudio relacionado de las cuestiones éticas implicadas en el desarrollo y utilización de estas tecnologías.

El transhumanismo se toma como argumento de base lo que se denomina como *las tecnologías convergentes (NBIC)*. Ya que tal y como consideran Roco & Bainbridge (2002) en las primeras décadas del siglo XXI, si se tiene la debida atención a los problemas éticos, las necesidades sociales y el desarrollo de las NBIC se podría originar una tremenda mejora en capacidades humanas, las necesidades sociales, la productividad de la nación, y la calidad de vida, satisfaciendo los intereses de los individuos, la sociedad y la humanidad a largo plazo. Las tecnologías convergentes (NBIC) son la combinación sinérgica de cuatro ámbitos de la Ciencia y la Tecnología: la nanociencia y la nanotecnología (N), la biotecnología y la biomedicina, incluyendo ingeniería genética (B), la tecnología de la información, incluyendo computación avanzada y comunicaciones (I) y la ciencia cognitiva, incluyendo la neurociencia cognitiva (C).

1.4.1 EL MERCADO DE LAS NANOTECNOLOGÍAS

Se estima que para el 2014 más del 15% de todos los productos del mercado global tendrán algún tipo de nanotecnología incorporada en sus procesos de elaboración (Dawson, 2008).

Las propiedades únicas de los nanomateriales han originado un gran crecimiento económico y tecnológico (Adlakha-Hutcheon *et al.*, 2009). Por ejemplo, se calcula que la cantidad total anual de nanomateriales en el mercado mundial es de unos 11 millones de toneladas, con un valor de mercado de, aproximadamente, 20.000 millones euros (European Commission, 2012c). Hwang & Bradley (2010) además prevén que el volumen de los ingresos de los productos basados en la nanotecnología pase de 200.000 millones euros en 2009 a 2 billones euros en 2015 tal y como se aprecia en la Gráfica 1.



*Nanomateriales: nanotubos, dendrímeros, fullerenos...

*Nanointermediarios: productos intermedios con propiedades de nanoescala, recubrimientos, cables superconductores, chips de memoria...

*Nanoproductos: productos finales que incorporan nanotecnología, automóviles, ordenadores, alimentos procesados, electrónica de consumo...

Fuente: (Hwang & Bradley, 2010)

El empleo en el campo de la nanotecnología se ve beneficiado día a día porque cada vez hay más PYMEs y empresas de reciente creación en este ámbito, lo que supone empleo directo en la UE para entre 300.000 y 400.000 personas. El panorama en el empleo se contempla positivo con tendencia al alza (European Commission, 2011b).

Aunque la nanotecnología aún está en fase de desarrollo, existen multitud de productos en el mercado que contienen nanomateriales tal y como reflejan los listados de los siguientes inventarios:

PEN

Project on Emerging Nanotechnologies (PEN) pone a disposición del público un listado de 244 productos comerciales basados específicamente en nanopartículas de plata (Woodrow Wilson Centre, 2013c) y otro listado con 1317 productos de consumo basados en las nanotecnologías. Los productos tienen como origen hasta 30 países diferentes y se agrupan en distintas categorías, siendo la llamada *salud y buena condición física* la más importante con diferencia, con un total de 738 productos (Woodrow Wilson Centre, 2013a). A esta base de datos se puede acceder a través de la aplicación para iPhone *findNano* (Woodrow Wilson Centre, 2013b).

Los criterios de inclusión que se utilizan son la disponibilidad de los productos por los consumidores, la autoidentificación como nano-producto y la demanda razonable de declararlo como nano-producto por su composición (European Commission, 2012c).

ANEC/BEUC

ANEC/BEUC es un inventario europeo de con un total de 475 productos identificados disponibles en el mercado y que manifiestan tener nanomateriales. Está dividido en diversas categorías y muestra una descripción detallada de cada producto, como por ejemplo el productor, el lugar de origen, las indicaciones de la etiqueta que llevan a poner de manifiesto el uso de nanomateriales en el producto, etc. (ANEC & BEUC, 2010) .

NANOWERK

Nanowerk es un portal web de nanotecnología y nanociencia en el que se encuentra diversa de información sobre el mundo nano (Nanowerk, 2013c). En particular, tiene una base de datos de productos con nanomateriales con un total de 154 registrados (Nanowerk, 2013b) y otra base de datos con información de nanomateriales en los que hay registrados 2177 tipos (Nanowerk, 2013a).

El origen de las bases de datos es americano, pero se ha extendido al orden mundial. El criterio de inclusión de los productos no está explícitamente definido y la información es recogida a través de buscadores web y por aportaciones de empresarios y consumidores (European Commission, 2012c).

BASE DE DATOS DE PRODUCTOS NANO DEL BUND

La base de datos de productos de Amigos de la Asociación para el Medio Ambiente y Conservación de la Naturaleza de Alemania recoge 1011 productos que contienen nanomateriales disponibles en Alemania clasificados en distintas categorías (Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, 2013).

JRC NANOhub

JRC NANOhub es una plataforma de información dedicada a administrar la información sobre los riesgos y la seguridad de los nanomateriales. La información de su base de datos es obtenida a través de diez proyectos de la unión Europea como BMBF-UMSICHT,







DeepNano o ENIPRA y 16 grupos de trabajo sobre nanomateriales (WPMN) de la OCDE como OECD-NanoMaPPP o OECD-PROSPECT. El listado actualizado a 27 de octubre de 2011 tiene 23 tipos de nanomateriales en los cuales se especifican su tamaño, área superficial...(European Commission, 2011a).

NANODATABASE

Nanodatabase está creada por el Consejo de Consumidores de Dinamarca, el Consejo Ecológico danés y DTU Medio Ambiente. En particular, el DTU Medio Ambiente es responsable de la recopilación de datos, las evaluaciones científicas de los nanomateriales y la categorización del color *NanoRiskCat* (The Nanodatabase, 2013a).

El Nanodatabase incluye 1236 productos que contienen nanomateriales. Cada producto está clasificado por un código de puntos y de colores; los puntos se refieren a la posibilidad de exposición a distintos colectivos, y los colores significan si el riesgo de exposición o efectos potenciales son altos (rojo), medios (amarillo), bajos (verde) o desconocidos (gris). Los códigos de color se han designado mediante la herramienta *NanoRiskCat* (The Nanodatabase, 2013b). En la Tabla 4, se expone un ejemplo de la información que aparece sobre un producto que contiene nanomateriales.

Tabla 4: Artículo catalogado en Nanodatabase. Raqueta de tenis: Wilson nCode

Nanomaterial: nano-silicio; suspendido en el sólido					
Riesgo de exposición			Efectos potenciales		
Laboral	Consumidor	Medio ambiente	Humano	Medio ambiente	
Bajo	Bajo	Bajo	Altos	Altos	
					

Fuente: (The Nanodatabase, 2013c)

NANOTECH-DATA.COM

Nanotech-data pretende dar a conocer los productos existentes que utilizan nanomateriales, en total tiene listado 78 productos la mayoría con acceso al folleto informativo de cada uno. También en el portal se pueden encontrar patentes, noticias y otra información relacionada con el campo de la nanotecnología (Nanotech-data.com, 2013).

NANOPRODUCTS

El portal web alemán Nanoproduct dispone de una base de datos con 586 productos comerciales y no comerciales, referente a productos dividido en 12 categorías, que contienen nanomateriales o han sido producidos con nanotecnologías. También incluye un registro de compañías investigadores, suministradores y plataformas (Nanoproducts, 2013).

Tabla 5: Evolución de las posibles nanotecnología a través del tiempo.

Campo	Prototipos que se podrán desarrollar entre 2013 y 2018	Conceptos e ideas que se podrán desarrollar a partir del 2018
Ingeniería de la construcción	<ul style="list-style-type: none"> • Células solares flexibles de gran área como elementos de fachada. • Iluminación OLED (diodo orgánico de emisión de luz). • Hormigón de ultra rendimiento • Mezclas de asfalto nano-optimizadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de materiales ultra ligeros basados en nanotubos de carbono. • Adaptación multifuncional de elementos de fachada (recuperación de energía, sombreado, iluminación).
Medio ambiente/energía	<ul style="list-style-type: none"> • Nanosensores para monitorización ambiental. • Generación eficiente de hidrógeno a través de nanocatalizadores. • Separación selectiva de contaminantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fotosíntesis artificial. • Células solares de alto rendimiento utilizando quantum dots. • Suministro de energía a través de cables con nanotubos de carbono.
Textil	<ul style="list-style-type: none"> • Tejidos que integren OLED (diodo orgánico de emisión de luz). • Tejidos que generen energía (termoeléctricos). 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de asistencia digital integrado en textiles (interfaz humano) • Sistemas integrados en textiles que permiten controlar funciones del cuerpo.
Ingeniería de automóviles	<ul style="list-style-type: none"> • Células solares en la carrocería de vehículos. • Optimización de los combustibles. • Ferro-fluidos como amortiguadores de impactos adaptativos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Asistencia inteligente a la conducción y tráfico. • Carrocería adaptable para una menor resistencia al aire.
Química	<ul style="list-style-type: none"> • Seda artificial 	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales autoreparables. • Máquinas moleculares.
Electrónica	<ul style="list-style-type: none"> • Nanotubos de carbono para dispositivos de memoria • Nanotubos de carbono como conectores en circuitos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Electrónica molecular. • Computación con ADN. • Afianzamiento espintrónica.
Medicina	<ul style="list-style-type: none"> • Implantes bio-compatibles. • Marcadores para diagnósticos. • Transporte selectivo de fármacos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Órganos artificiales. • Afianzamiento teranóstica.

Fuente: adaptación basada en (Luther & Bachmann, 2009)

Sin embargo, aunque es manifiesta la amplia variedad en el mercado actual de productos basados en la nanotecnología, hay que indicar que estas aplicaciones entran en el mercado de una forma progresiva. Es decir, algunas llevan utilizándose ya desde hace tiempo, otras están recién descubiertas o están en fase de desarrollo como prototipo o concepto. Luther & Bachmann (2009) realizan una predicción de la incorporación paulatina de potenciales aplicaciones de la nanotecnología, al mercado en distintos sectores, algunos ejemplos aparecen en la Tabla 5.

1.5 RIESGOS DE LA NANOTECNOLOGÍA

SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE

Chemicals Stakeholder Forum (2004) utiliza los siguientes criterios para identificar las sustancias químicas que tienen propiedades intrínsecas que pueden ser dañinas para el medio ambiente o para la salud humana a través de él:

- La persistencia, si la sustancia no se desintegra en al menos la mitad de su cantidad original en 2 meses en agua o en 6 meses en suelo.
- La bioacumulación, si la sustancia tiende a formar parte del tejido graso y en el test de atracción al éste en agua tiene una relación de 10.000 a 1, o más,
- La toxicidad según los criterios de la Directiva 67/548/CEE, modificada por Directiva 2006/121/CE. Además, Chemicals Stakeholder Forum (2004) añade a este último criterio la consideración de sustancia tóxica si, para al menos el 50% de organismos acuáticos de una muestra, resulta fatal una concentración de la sustancia de 0,1mg por litro, o menos.

Los potenciales beneficios de la nanotecnología parecen ser bien comprendidos (Datta, 2006), pero aún se dispone pocos datos relativos a su toxicidad (Tanarro, 2010). Las propiedades de los nanomateriales, tales como área de la superficie, composición química, tamaño, forma o carga, tienen una influencia importante en sus propiedades toxicológicas. Por tanto, es presumible que los nanomateriales puedan ser igual o más perjudiciales que las partículas o fibras de escala no nanométrica del mismo material. (Rosell & Pujol, 2008). Esto implica que la amplia utilización de las nanotecnologías a nivel mundial es pueda tener un impacto en la salud humana la salud a escala mundial, porque cada vez habrá más personas expuestos a nanoproductos (Crosera *et al.*, 2009; Savolainen *et al.*, 2010).

Biswas & Wu (2005) identifican los siguientes grupos como principales fuentes de emisión de nanopartículas:

- Fuentes estacionarias como, por ejemplo, una incineradora (Chang *et al.*, 2004).
- Fuentes móviles como, por ejemplo, los vehículos (Kittelson, 1998).
- Ambientes de trabajo de procesos industriales en los que se emiten nanopartículas de forma involuntaria -como, por ejemplo, la soldadura- y ambientes de trabajo en los que se produce de forma deliberada nanomateriales -como, por ejemplo, los trabajos de la limpieza o gestión de los residuos- (Vincent & Clement, 2000) .
- Fuentes naturales como, por ejemplo, los fragmentos de polen o los virus utilizados en algunas vacunas (Hogan, Lee, & Biswas, 2004) .
- Las nanopartículas que se forman por reacciones en la atmósfera (Kulmala, 2003; Kulmala *et al.*, 2004). Estas nanopartículas suelen durar poco; por ejemplo, para el caso de una nanopartículas de 10 nm, 15 minutos (Kittelson, 1998).

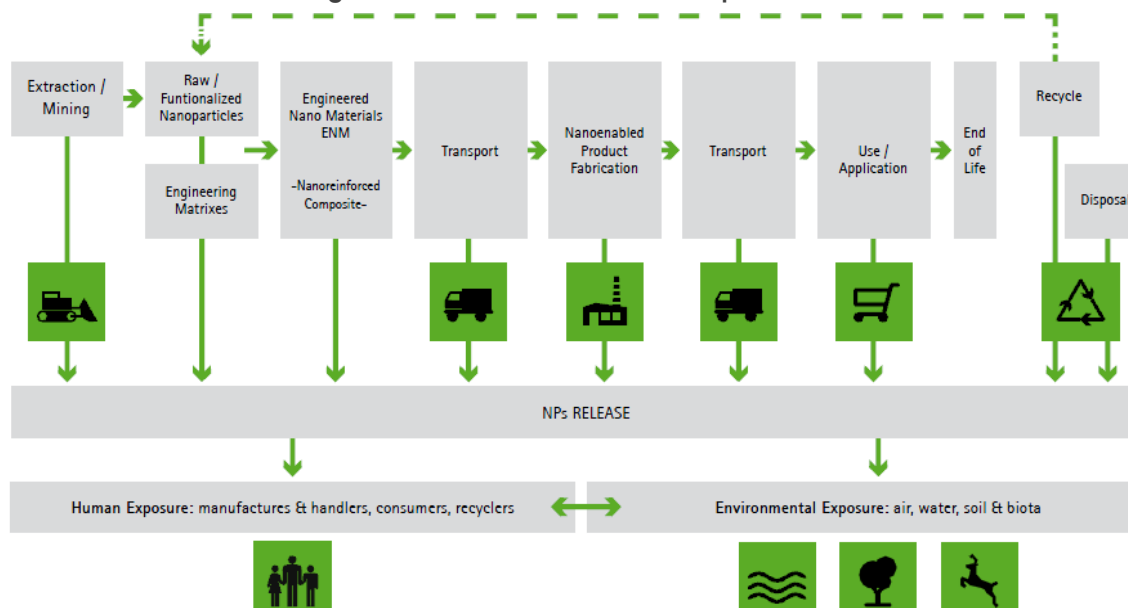
La producción y uso de nanomateriales emiten inevitablemente al medio ambiente cantidades significativas de nanopartículas (Darlington, Neigh, Spencer, Nguyen, & Oldenburg, 2009). Además estas pueden ser formadas y emitas al medio ambiente de distintas formas: a la atmósfera a través de gases (Friedlander & Pui, 2004), vertidas directamente como residuos industriales a ríos o lagos, siendo ésta una de las mayores fuentes de nanopartículas contaminantes (Daughton, 2004), vertidas de forma indirecta a las

aguas residuales a través de los nanoprodutos que a ellas arrojamos (medicamentos, cosméticos...) (Chemicals Stakeholder Forum, 2004) o pueden ser vertidas directamente al suelo (Darlington *et al.*, 2009).

Tras la liberación de nanopartículas de las fuentes citadas anteriormente al medio ambiente, existe una amplia variedad de rutas que pueden seguir para alcanzar a los humanos y otros organismos. (Chemicals Stakeholder Forum, 2004) Una vez en contacto con el medio ambiente, los nanomateriales pueden entrar en la cadena de alimentación (Chemicals Stakeholder Forum, 2004). Por ejemplo si se vierten nanopartículas a un medio acuático, los peces acumularán las nanopartículas y se depositarán en sus órganos a altas concentraciones (Galloway *et al.*, 2002; Livingstone, 2001) y podrían causar enfermedades a los humanos si posteriormente se consume ese pescado. También hay que tener en cuenta otras fuentes de contaminación, por ejemplo la emisión de residuos industriales con nanomateriales a vías acuáticas puede directamente causar enfermedades a los humanos por vía dérmica (Daughton, 2004).

En general, las exposiciones a humanos y al medio ambiente dependen de la fase de uso y de su aplicación así como del estado en que se encuentren ya que, por ejemplo, cuando están embebidas en una matriz es difícil que se desprendan las nanopartículas y ocurra la exposición. (European Commission, 2012c). Además existen multitud de posibles escenarios de exposición, por ejemplo en el trabajo, los trabajadores pueden estar expuestos durante los procesos de producción (laboratorios y fábrica), uso de nanoprodutos, transporte, almacenaje y tratamiento de residuos. Además los nanomateriales pueden desprenderse durante todo el ciclo de vida del producto y afectar a la salud del consumidor y del medio ambiente (suelo, agua, aire, flora y fauna), en la Figura 12 se muestra un esquema de las posibles rutas de exposición a nanomateriales a los humanos y el medio ambiente (Deutscher Bundestag, 2008).

Figura12: Ciclo de vida de los nanoproductos



Fuente: Ekotek citado por (NEPHH'S CONSORTIUM, 2012)

Una de las dificultades para determinar el potencial de exposición, tanto para seres humanos como para el medio ambiente, es la falta de información sobre qué productos llevan incorporadas nanopartículas y la probabilidad de que se emitan al medioambiente en forma y cantidad dañinas, aunque la exposición a compuestos que las contienen dependen de cómo estén retenidos (Chemicals Stakeholder Forum, 2004). También el control de su presencia entraña retos complejos, derivados, por ejemplo, de su pequeño tamaño y sus bajos niveles de concentración, así como de la diferenciación del resto de partículas ultrafinas. Si bien existen ciertos métodos de control, están pendientes de validación en su mayor parte, lo que dificulta la comparabilidad de los datos (European Commission, 2012b)

Es posible que las nanopartículas pudieran interferir en las funciones vitales de organismos terrestres o acuáticos en función de su actividad superficial. Ya que la evidencia de que las nanopartículas pueden inhibir la movilidad y la fagocitosis de los macrófagos, sugiere que estos efectos también se manifestarán en organismos terrestres (Royal Society and Royal Academy of Engineering, 2004).

La Royal Society and Royal Academy of Engineering (2004) indica que existen muy pocos estudios acerca del impacto de las nanopartículas contaminantes en el medio ambiente y en especies no humanas. De hecho, señala que sólo hay un estudio sobre el impacto de los nanomateriales en laboratorio que no sean mamíferos. Se trata de la investigación de (E. Oberdörster, 2004) en la que se expuso a lubinas a fullerenos C₆₀. De la investigación se observó que aumentó la peroxidación de la grasa, pero sin ser significativa. Sin embargo, se notó una clarificación del agua, por lo que se sugirió que podría haber afectado a los microorganismos del tanque del agua.

Además, se insinúa que los nanopartículas pueden aumentar la biodisponibilidad de los contaminantes a las plantas, animales y su transporte a ecosistemas sensibles (Chemicals Stakeholder Forum, 2004).

Una de las preocupaciones de las aplicaciones de los nanomateriales en la germinación de semillas es la fitotoxicidad (Ruffini Castiglione & Cremonini, 2009). Se hace necesario pues, abordar investigaciones futuras sobre todo dada la imprevisibilidad en la reacción de los nanomateriales en diferentes plantas y el aumento de la fitotoxicidad debido a la aparición de mayores concentraciones (Nair *et al.*, 2010). Lin & Xing (2007) demostraron que altas concentraciones de nanotubos multipared, Al_2O_3 , ZnO y Al y Zn a alta concentraciones inhibía la germinación y disminuía la longitud de las raíces. Otra inquietud de las aplicaciones es la aplicación de nanopesticidas, porque hay incertidumbre acerca de los efectos que tendrán a largo plazo sobre la salud humana y el medio ambiente. Aunque pueden ser mejor que los pesticidas actuales, es necesario evaluar posibles absorciones por parte de los trabajadores (Xu, Liu, Bai, & Chen, 2010).

IMPACTO SOCIAL

Serena (2010) señala que con las aplicaciones de la nanotecnología, se espera un aumento de la esperanza de vida, y por tanto de la población y su envejecimiento, lo que conllevaría a su vez a un aumento de necesidades que podría poner en entredicho los recursos disponibles.

Por otro lado la convergencia NBIC permitirá mejorar capacidades o adquirir algunas nuevas, tanto físicas como cognitivas, pero queda la incertidumbre de a qué sector de la población va a beneficiar realmente. Es decir, la nanotecnología podría aumentar aún más las diferencias entre países pobres y ricos.

Grupos como Greenpeace, Grupo ETC, Center for Environmental Health, Friends of the Earth proponen una moratoria sobre su uso por los riesgos que pueden entrañar el uso de los nanomateriales. Ante esto, las empresas se oponen y algunos expertos proponen un sistema estricto de regulaciones y seguimiento de desarrollo de la nanotecnología (Serena, 2010). Por tanto, ya se está presentando un clima de confrontación que podría tomar más brío en el futuro.

USO TRANSGRESOR E INADECUADO DE LA NANOTECNOLOGÍA

La visión de Drexler (1986) acerca de los dispositivos moleculares autoreplicantes, aquellos que son capaces de forma autónoma de hacerse copias así mismos, ha alimentado gran parte de los temores del uso inadecuado de la nanotecnología. Por ejemplo, que debido a un fallo técnico, se llegara producir de forma incontrolada máquinas autoreplicantes (Bostrom, 2003; Joy, 2000; Service, 2000).

La seguridad internacional se podría poner en entredicho por el supuesto desarrollo de ejércitos de nanorobots autoreplicantes para fines terroristas (Joy, 2000). Así como la intimidad también podría ser violada por el desarrollo de dispositivos de vigilancia a nanoescala para controlar a las personas sin que estas se percaten (Mnyusiwalla, Daar, & Singer, 2003).

1.6 PERCEPCIÓN PÚBLICA DE LA NANOTECNOLOGÍA

La percepción pública de la nanotecnología tiene el potencial de influir en las futuras investigaciones, en la política y en el desarrollo de la industria de la nanotecnología. Es por ello que muchos estudios se han centrado en estudiarla (Dietz & Stern, 2008; Slovic, 2000; Stern & Fineberg, 1996).

Como indica Gordijn (2005), hay dos tendencias en la percepción de la nanotecnología: la positiva, en la que las personas tienen unas expectativas idealizadas de la nanotecnología, y la negativa, en las que las personas predicen escenario catastrófico por el desarrollo de la nanotecnología. Estas tendencias tan radicales manifiestan la necesidad del desarrollo de una evaluación del impacto de la nanotecnología desde un punto de vista equilibrado y documentado.

Como señala Slovic (2000), la percepción del riesgo y su aceptación dependen de factores cualitativos atribuidos por el sujeto sobre la fuente del riesgo, quedando excluido de los factores clave el conocimiento científico sobre los riesgos. En la Tabla 6 se muestran algunos factores claves que afectan a la percepción sobre el riesgo según Slovic (2000). En resumen, los factores clave que afectan a la percepción poseen tres características: los beneficios que conllevan, el potencial catastrófico y el nivel de consciencia sobre los riesgos.

Tabla 6: Algunos factores clave que afectan a la percepción sobre el riesgo

Factores de percepción del riesgo	Disminuyen percepción negativa del riesgo	Incrementan percepción negativa del riesgo
Beneficios	Altos beneficios	Pocos beneficios
Elección de la exposición	Voluntaria	Involuntaria
Familiaridad	Riesgo conocido desde hace tiempo	Riesgo no familiar o nuevo
Origen	Natural	Antropogénico
Visibilidad de la exposición	Visible	Invisible
Estado social y científico	Posible conceso	Controversia

Fuente: Basado en (Slovic, 2000)

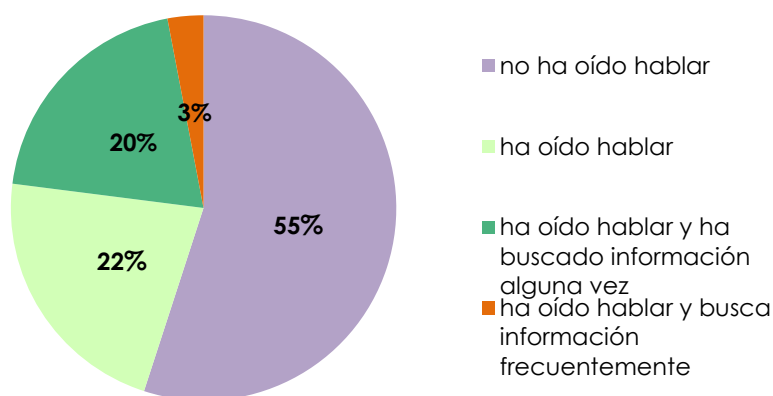
Para Douglas & Wildavsky (1982) los factores de percepción del riesgo no dependen sólo de las características generales del mismo. Es decir, la percepción del riesgo se forja con la mezcla de conocimientos técnicos, sentido común, experiencias personales, comunicación y tradiciones culturales.

Por otro lado, cuando los mensajes relacionados con los riesgos interaccionan con la sociedad, se puede incrementar o reducir la percepción sobre los mismos. Es decir, la forma en que es evaluado depende de los individuos, grupos y organizaciones que lo reciban, interpreten, aprueben o provean la información. A su vez, lo anterior está influido por los medios de comunicación, la actividad de los grupos de presión, el volumen de información, la dramatización de la información... De forma que la confianza se convierte en pilar fundamental de la formación de opinión y decisiones de riesgos (Kasperson, 1992; Kasperson *et al.*, 1988; Pidgeon, Kasperson, & Slovic, 2003). En definitiva, como manifiesta, Schuler (2004) la aceptación del riesgo depende más de la confianza pública en la fuente de información de los riesgos que en la estimación del riesgo en sí misma.

Tras una revisión de la literatura existente en este campo del conocimiento, Gibson, Stacey, Drais, Wallin, & Zatorski (2012) resumen las principales conclusiones a las que llegaron tras analizar una serie de grupos de estudios sobre la percepción de los riesgos de los nanotecnología:

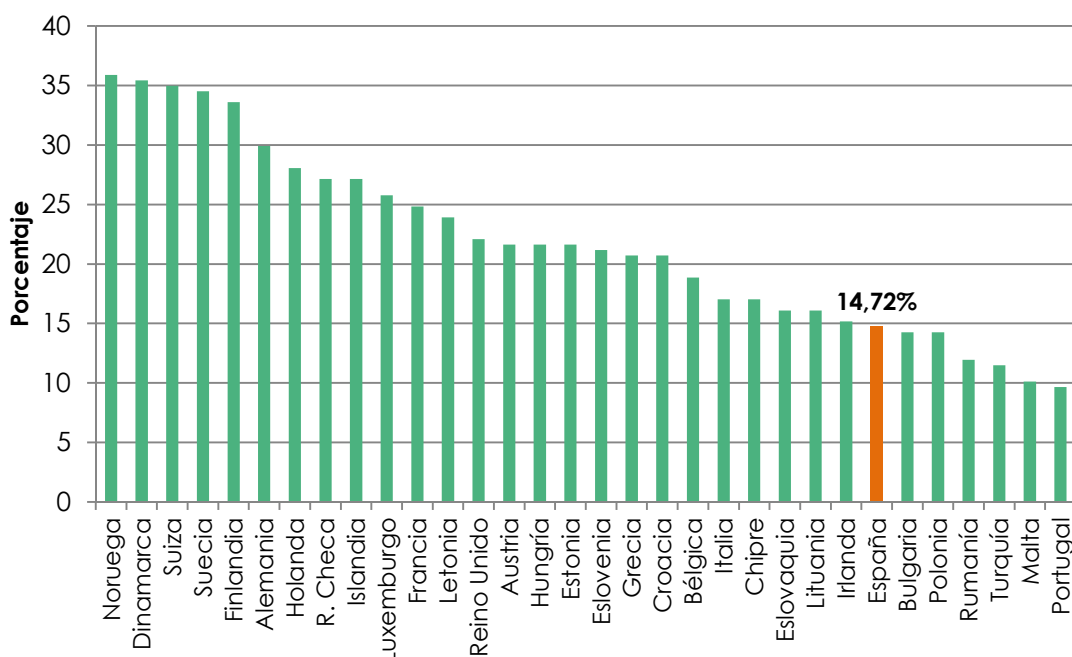
- El conocimiento público de la nanotecnología es muy limitado. Mucha gente no está familiarizada con ella, como se aprecia en las Gráficas 2 y 3 (Cobb & Macoubrie, 2004; Currall, 2009; European Commission, 2005b; European Commission, 2010a; European Commission, 2010b; European Commission, 2010c; Royal Society and Royal Academy of Engineering, 2004; Satterfield, Kandlikar, Beaudrie, Conti, & Harthorn, 2009; Scheufele & Lewenstein, 2005) .

Gráfica 2: Consciencia de la nanotecnología, en la Europa de los 27 en 2010



Fuente: (European Commission, 2010a)

Gráfica 3: Porcentajes de personas que han oído hablar de la nanotecnología en 2010 según país europeo.



Fuente: basada en (European Commission, 2010)

- A pesar del bajo nivel de conocimiento, el público espera de la nanotecnología más beneficios que riesgos. El juicio a favor de la nanotecnología aumenta significativamente con el nivel de familiaridad, aunque depende de las aplicaciones (en aplicaciones médicas se ve bien a diferencia de las agroalimentarias). Cabe destacar que, en general, se es más optimista sobre las nanotecnologías en Estados Unidos que en Europa (Burri & Bellucci, 2008; Gaskell, Ten Eyck, Jackson, & Veltri, 2004; Max-Planck Institute for Metals Research, 2010; Petersen & Anderson, 2007; Satterfield *et al.*, 2009; Siegrist, Stampfli, Kastenholz, & Keller, 2008; Stilgoe, 2006) .
- Muchas personas tienen una opinión desconcertada sobre los riesgos y beneficios de la nanotecnología (Cormick, 2009; Satterfield *et al.*, 2009) .
- Una mayor familiaridad con las nanotecnologías no conduce automáticamente a una actitud positiva hacia ella, siendo otros los factores que la inducen (Kahan, Braman, Slovic, Gastil, & Cohen, 2009; Shipman, 2010).
- Los expertos cualificados son más conscientes que el público en general sobre la contaminación y los problemas de Salud que generan los nanomateriales. También se observa que aumenta la concienciación sobre los riesgos para los trabajadores (Cheng, Lin, Li, & Chou, 2009; European Commission, 2010b; Scheufele *et al.*, 2007) .
- Ante la ausencia de conocimiento, las personas utilizan el ensayo y error para evaluar los riesgos y beneficios.
- Las evaluaciones pueden verse afectadas por creencias religiosas y otros esquemas cognitivos (Kahan *et al.*, 2009; Y. Lin, Cheng, & Chou, 2008; Rozin *et al.*, 2004; Scheufele *et al.*, 2007; Siegrist *et al.*, 2008) .
- Las predisposiciones culturales y los prejuicios influyen en cómo la nueva información es recibida y evaluada (Kahan *et al.*, 2009; Powell, 2007) .
- La confianza en las instituciones que están relacionadas con el uso o regulación de los nanomateriales mejora la percepción de los beneficios de la nanotecnología (Cheng *et al.*, 2009; Siegrist, Cousin, Kastenholz, & Wiek, 2007; Siegrist, Keller, Kastenholz, Frey, & Wiek, 2007) .
- Los expertos cualificados son más conscientes que el público en general sobre la contaminación y los problemas de salud que generan los nanomateriales. La concienciación sobre los riesgos para los trabajadores aumenta (Cheng *et al.*, 2009; European Commission, 2010b; Scheufele *et al.*, 2007)

1.7 MARCO REGULATORIO

En la actualidad, mucha de la normativa vigente se puede aplicar a los nanomateriales, siendo necesario adaptarla a medida que progrese el conocimiento (Tanarro & Gálvez, 2009) . Sin embargo, es llamativo constatar que no existe un marco regulatorio específico para los nanomateriales.

Por tanto, queda puesto de manifiesto el reto de elaborar una legislación que garantice un alto nivel de Salud, Seguridad y protección del medio ambiente y que, al mismo tiempo, permita el desarrollo de la nanotecnología (European Commission, 2012b).

Para la toma de decisiones respecto al marco regulatorio de los nanomateriales, la nanoética va a ser fundamental, pues permitirá orientarla a través de una visión conjunta de científicos, políticos y expertos con el objetivo de tener en cuenta una visión multidisciplinar acerca de las implicaciones de la nanotecnología sobre el medio ambiente, la seguridad, la privacidad, la distribución de riqueza o el acceso a los nuevos medios para prolongar la existencia de seres humanos (Serena, 2010).

La ausencia del marco normativo regulatorio incrementa las iniciativas legislativas para regular el panorama (Davies, 2006; A. C. Lin, 2007). Por ejemplo, en Francia, es obligatorio declarar el tipo, cantidad y uso de los nanomateriales que son producidos, introducidos o importados.

También está en auge la redacción de normas ISO para armonizar y estandarizar parámetros y metodologías, así como la terminología y las definiciones, principalmente. En la Tabla 7 figuran las normas ISO vigentes, aunque hay otras muchas más en proceso de elaboración (International Organization for Standardization (ISO), 2013).

European Commission (2012a) resume la labor política europea principal llevada a cabo hasta el momento:

- El 3 de octubre del 2012, la Comisión Europea publica la segunda revisión reglamentaria sobre nanomateriales. En ella se describen los planes para mejorar la legislación en la Unión Europea y se acompaña de un documento de trabajo sobre los tipos de nanomateriales y sus usos.
- El 18 de octubre de 2011, la Comisión adoptó la recomendación sobre la definición de nanomaterial.
- La comunicación "Nanociencias y Nanotecnología: un Plan de Acción para Europa 2005-2009", en la que se especificó que todas las aplicaciones y uso de la nanociencia y la nanotecnología deberían cumplir con los niveles pertinentes de Seguridad y Salud.
- En 2008 se publicó la primera publicación sobre los aspectos regulatorios de los nanomateriales acompañados de un documento de trabajo. Consistía en un resumen sobre la legislación Europea en sectores relevantes. En el mismo año se elaboró un código de conducta para una investigación responsable en nanociencia y nanotecnología.

Tabla 7: Normas ISO publicadas relacionadas con los nanomateriales

Denominación	Título
ISO 14577-1:2002	Materiales metálicos. Ensayos de penetración monitorizada para la determinación de la dureza y otros parámetros de los materiales. Parte 1: Método de ensayo.
ISO 14577-4:2007	Materiales metálicos. Ensayo de penetración monitorizado para la determinación de la dureza y otros parámetros de los materiales. Parte 4: Método de ensayo para revestimientos metálicos y no metálicos.
ISO/TR 27628:2007	Ambientes de trabajo - partículas ultrafinas y nano-aerosoles nanoestructurados - caracterización de la exposición por vía respiratoria y evaluación.
ISO/TS 27687:2008	Nanotecnologías. Terminología y definiciones para nano-objetos. Nanopartícula, nanofibra y nanoplaca.
ISO 9277:2010	Determinación de la superficie específica de sólidos por adsorción de gas - método BET.
ISO/TR 11360:2010	Nanotecnologías - Metodología para la clasificación y categorización de los nanomateriales
ISO/TS 80004-3:2010	Nanotecnologías -- Vocabulario -- Parte 3: nano-objeto de carbono.
ISO/TS 12805:2011	Nanotecnologías – Especificaciones de materiales – Guía para especificar nano-objetos.
ISO/TS 80004-4:2011	Nanotecnologías -- Vocabulario -- Parte 4: materiales nanoestructurados.
ISO/TR 14187:2011	Análisis químico superficial -- Caracterización de nanomateriales nanoestructurados.
ISO/TS 80004-5:2011	Nanotecnologías -- Vocabulario -- Parte 5: Nano/bio interfaz.
ISO/TS 12025:2012	Nanomateriales – Cuantificación de nano-objetos en polvo emitido por la generación de aerosoles.
ISO/TS 12901-1:2012	Nanotecnologías. Gestión de riesgos laborales aplicada a los nanomateriales. Principios y enfoques.
ISO/TR 11811:2012	Nanotecnologías. Guía sobre los métodos para la medición de nano-y micro tribología.
ISO/TS 16195:2013	Guía para la elaboración de materiales de ensayo representativos consistentes en nano-objetos en forma de polvo seco.

Fuente: (International Organization for Standardization (ISO), 2013)

SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE

En lo que respecta a Seguridad y Salud en el trabajo a nivel nacional, no existe ninguna normativa específica en materia preventiva para trabajar con nanomateriales. De

hecho, en España sólo se han puesto a disposición por parte del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo dos Notas Técnicas de Prevención: la Nota 797: Riesgos asociados a la nanotecnología y la Nota 877: Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas. Estas herramientas técnicas pretenden facilitar la aplicación técnica de las exigencias legales, pero no son vinculantes ni de obligado cumplimiento (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2013).

A nivel europeo, tampoco existe reglamentación en materia preventiva (aunque está en curso). En el 2013 espera concluir una evaluación final sobre una revisión de la legislación de Seguridad y Salud en el trabajo (European Commission, 2012b).

Con respecto a la regulación en materia preventiva, Slovic (2000) considera importante que quien regule los riesgos en el campo de la nanotecnología conozca las tendencias de la percepción de riesgos de los nanomateriales, principalmente, por tres razones:

- Debido al contexto científico de incertidumbre que envuelve a la nanotecnología, hay que estudiar la percepción de riesgos que permite comprender los enfoques y actitudes hacia los nanomateriales para adaptar mejor la promoción de medidas de Seguridad y Salud a los trabajadores.
- El desarrollo y comercialización se verán afectados por la reacción del público y, por tanto, a los agentes involucrados en el sector les interesa predecir la opinión pública.
- Actualmente existen muchos factores que alimentan y elevan el conflicto y el temor y retrasan las medidas de prevención adecuadas.

En cuanto a la legislación relativa a la seguridad de los productos de consumo, se está trabajando para adaptar la legislación de forma que se incluyan cuestiones relativas a los nanomateriales, actualizar los procedimientos de determinación del riesgo, reforzar la vigilancia del mercado y mejorar la información y los requisitos sobre etiquetado (European Commission, 2012b).

En materia medio ambiental, no se ha establecido en ninguna legislación de la Unión Europea ninguna disposición específica con respecto a los nanomateriales, en principio, por la falta de datos sobre la exposición a los nanomateriales del medio ambiente. La Comisión Europea considera que estos riesgos se pueden abordar mejor a través del el Reglamento europeo relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y mezclas químicas (REACH) y del Reglamento europeo sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas químicas (CLP), pues su registro en ellos activa protocolos a seguir para controlar las emisiones de sustancias peligrosas al medio ambiente (European Commission, 2012b).

REACH Y REGLAMENTO SOBRE CLASIFICACIÓN, ETIQUETADO Y ENVASADO DE SUSTANCIAS Y MEZCLAS

Según (European Commission, 2006b), las sustancias químicas importadas o fabricadas en la Unión Europea, en la mayoría de los casos tienen que estar registradas en la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA), la cual se encarga de guiar a

las autoridades reguladoras a la hora de aplicar la legislación de la UE, asesora a las empresas en el cumplimiento de la legislación, aboga por el uso seguro de los productos químicos, brinda información sobre los productos químicos y se ocupa de los productos químicos que suscitan inquietud (European Chemicals Agency, 2013h).

Además, el Reglamento CLP establece la obligación de notificar a la ECHA las sustancias en las que las formas que se introducen en el mercado que son peligrosas, independientemente de su cantidad (European Commission, 2008).

Los nanomateriales se ajustan a la definición de sustancia del REACH y el CLP y, por tanto, aunque no se contemplan requisitos específicos para los nanomateriales, se le aplicaran sus disposiciones (European Chemicals Agency, 2013f).

De todas formas, en el marco de REACH, pueden contemplarse diversas formas dentro de un único registro de una sustancia, pero el solicitante debe garantizar la seguridad de todas las formas y facilitar la información adecuada, pero no es obligatorio realizar pruebas específicas para cada una de las distintas formas (European Commission, 2012b).

- En la Segunda Revisión de la Normativa sobre nanomateriales de la Comisión Europea (European Commission, 2012b) se abordan las siguientes cuestiones:
- Se plantea evaluar posibles modificaciones en el REACH con el fin de garantizar una mayor claridad sobre cómo se tratan los nanomateriales y cómo se demuestra su seguridad en los registros.
- Respecto a la consideración a la identificación de los nanomateriales como nuevos materiales, en principio se estudia si es recomendable, aunque parece apuntar que será necesaria cierta flexibilidad.
- Ante peticiones respecto a plantear un registro simplificado de los nanomateriales fabricados o importados en una cantidad inferior a 1 tonelada, de momento no se espera que se modifiquen los umbrales y los plazos de registro según el volumen, ya que se considera que los nanomateriales en pequeñas cantidades se utilizan sobre todo en aplicaciones técnicas o en aplicaciones en las que están embebidas en una matriz, por lo que se considera que la exposición a nanopartículas es baja.

La ECHA administra una base de datos con la información de clasificación y etiquetado de las sustancias notificadas y registradas recibidas de los fabricantes e importadores. La base de datos tiene 146 sustancias registradas que incluyen información relacionada con nanomateriales, de 111.495 que hay en total registradas; sin embargo, sólo 3 son identificadas como nanomaterial específicamente (European Chemicals Agency, 2013b):

- El grafito está registrado como nanomaterial y además ha sido clasificado con las siguientes frases de peligro, H319 y H355 (European Chemicals Agency, 2013d).
- Los nanotubos multipared están registrados como nanomaterial y no se consideran peligrosos (European Chemicals Agency, 2013e).
- El dióxido de silicio amorfo sintético (SiO₂) no contempla la nanoforma y no ha sido clasificado como peligroso (European Chemicals Agency, 2013c).
- La plata está registrada en el REACH, pero no cubre las nanopartículas. (European Chemicals Agency, 2013g)

- El dióxido de titanio está registrado incluyendo todas las formas pero sin especificar diferencias y la sustancia no ha sido clasificada como peligrosa por el registrador (European Chemicals Agency, 2013i).
- El óxido de cerio está registrado y el registrador indica que la sustancia tiene una nanoforma por lo que provee de información sobre ésta de forma independiente, sin embargo no ha sido clasificada como peligrosa (European Chemicals Agency, 2013a).
- Varias sustancias que existen también como nano-arcillas han sido registradas bajo REACH. Sin embargo, no incluyen la forma nanométrica. Por otra parte, algunas nano-arcillas se producen en la naturaleza y por lo tanto están exentos de registración (Reachcentrum, 2012).

RESIDUOS

La creciente exposición por el desarrollo de los nanomateriales genera una inevitable consecuencia: la aparición de nano-residuos. El panorama actual en relación con la gestión de nano-residuos es insuficiente. Es necesario desarrollar un marco legal específico para los "nano-residuos" y uno de los primeros pasos que se debería de dar es la propia definición de nano-residuo. Así como que los productos que incorporen nanomateriales estén identificados para elegir en su caso el fin adecuado o tratamiento (NEPHH'S CONSORTIUM, 2012).

Según la definición de British Standards Institution (BSI) (2007), que es la más ampliamente utilizada hasta ahora, se considerarían las siguientes categorías de nano-residuos:

- Nanomateriales puros.
- Productos contaminados con nanomateriales.
- Líquido con nanomateriales en suspensión.
- Matrices sólidas con nanomateriales, que sean friables o que tengan una estructura débil y que se desprendan de la superficie.

Otra clasificación complementaria, establece 5 grupos de nano-residuos de acuerdo a su toxicidad (Musee, 2011).

Los fabricantes o importadores tienen que tener en cuenta el ciclo de vida del producto y, por tanto, de los residuos que se generen durante el proceso o los que aparezcan como consecuencia del uso de la sustancia y/o se formen al final de la vida del producto que contiene la sustancia (Zevenhoven, Axelsen, Elomaa, Kilpinen, & Hupa, 2003).

2 PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

En el capítulo 1. INTRODUCCIÓN y 2. NANOMATERIALES se ha puesto de manifiesto el aumento exponencial de la utilización de nanomateriales artificiales. Por lo que la exposición de los trabajadores a nanomateriales también aumenta de manera significativa (Savolainen *et al.*, 2010). La estrategia preventiva a realizar frente a los riesgos derivados de las materiales se plantea desde dos perspectivas: la prevención de incendios y explosiones y la vinculada a la posible toxicidad (Rosell & Pujol, 2008). En este capítulo se explica cuales son las acciones respecto a la Prevención de Riesgos Laborales que se proponen a adoptar en el campo de la nanotecnología.

2.1 EXPOSICIÓN A NANOPARTÍCULAS

2.1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA EXPOSICIÓN LABORAL

Son pocos los datos disponibles oficiales sobre el número de trabajadores que están expuestos a nanomateriales (Brun *et al.*, 2008). Sin embargo existen algunas orientaciones, en el 2004, se estimó que en Reino Unido había alrededor de 1.000.000 de trabajadores podría estar expuestos a partículas ultrafinas y 2.000 a nanopartículas (Institute of Occupational Medicine, 2004). De acuerdo con el *Institut National de la Recherche Scientifique* (INRS) de Francia, hay unos 3.340 empleados en entornos de trabajo donde se producen nanomateriales (Boutou-Kempf, 2010).

Tal y como se ha expuesto en el 1.4 BENEFICIOS, son muchos los campos de aplicación en los cuales se puede aprovechar el potencial de los nanomateriales: construcción, cuidado de la salud, electrónica, transporte, energía, etc. y la lista de aplicaciones va en continuo crecimiento.

Esto implica la existencia de muchos escenarios en los que los trabajadores pueden estar expuestos a nanomateriales, inclusive la actividades que llevan aparejada de forma indirecta el desarrollo de la nanotecnología, como la limpieza o el mantenimiento (Krings & Muellner, 2006; Ostiguy *et al.*, 2006).

La exposición a nanomateriales se da principalmente en dos escalas: la industrial, que incluye la producción de nanomateriales y sus subsecuentes fases y la escala a nivel investigación (Kaluza *et al.*, 2008). Por su parte, Ricaud & Witscheger (2012) diferencian dos tipos de exposición profesional a material nanométrico atendiendo a la intencionalidad de su presencia:

- La exposición relacionada con los procesos donde la finalidad no es la producción específica de nanomateriales. En este caso estaríamos haciendo referencia a las llamadas partículas ultrafinas. Son ejemplos de esta exposición los siguientes:
 - Procesos de combustión: emisiones de los motores diesel, gas o gasolina, centrales de de incineración, térmicas o de cremación, calefacción de gas, ahumado de productos alimentarios, etc.

- Procesos mecánicos: molienda y mecanizado de metales, lijado, perforación, pulido, etc.
- Procesos a alta temperatura: fundición y refinado de metales, galvanizado, soldadura, corte de metal-lanza térmica, corte de metal-láser, aplicación de resinas y barnizados, etc.
- La exposición relacionada con la producción y utilización de nanomateriales manufacturados. Son ejemplo de esta exposición las siguientes:
 - Manejo de polvos con nanoestructura: transferencia, toma de muestras, pesado, incorporación en una matriz.
 - Trabajo con líquido con nanomateriales en suspensión: transvase, agitación, secado (formación de gotas), etc.
 - Carga o descarga de un reactor.
 - Mecanizado de nanocompuestos: corte, pulido, taladrado, etc.
 - Acondicionamiento, embalaje, almacenamiento y transporte de productos.
 - Limpieza y mantenimiento de equipos y locales: desmontaje de un reactor, limpieza de glove-box, limpieza de filtros (sistemas de extracción de captura de nanopartículas).
 - Recolección, embalaje, almacenamiento y transporte de residuos
 - Accidentes.

En relación a este último tipo de exposición se ha identificado las siguientes actividades partiendo desde la etapa propia de producción de nanomateriales, hasta su eliminación o reciclaje:

- Fabricación propia de nanomateriales.
- Tareas de investigación y desarrollo de nanomateriales.
- Incorporación de nanomateriales y/o nanotecnologías en otros productos, materiales o procesos in situ.
- Empaquetado, transporte y/o almacenamiento.
- Gestión de prevención y/o calidad.
- Limpieza y mantenimiento de instalaciones donde se emplean nanotecnologías.
- Gestión de residuos.

2.1.2 CUANTIFICACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Tal y como se procede de forma general en Higiene Industrial, para controlar la exposición de los trabajadores a agentes contaminantes, se compara las medidas de las concentraciones de contaminantes en la zona de respiración del trabajador con un valor límite ambiental (VLA). Sin embargo para el caso concreto de la exposición a nanopartículas, esta evaluación de la exposición se complica ya que es necesario que:

- Exista un índice para definir adecuadamente la exposición,
- Se conozcan niveles a los que dichas partículas tienen efectos para la salud
- La medida que se obtenga de este índice sea representativa de lo que está respirando el trabajador,

- Se disponga de métodos analíticos capaces de medir ese índice de exposición (Tanarro, 2010).

Respecto del índice de exposición, la concentración en masa por unidad de volumen, es el parámetro clásico para medir la exposición a aerosoles, sin embargo no es el más adecuado para los nanoaerosoles, porque no tiene en cuenta otros parámetros que son determinantes en la toxicidad en las partículas cuando se vuelven más pequeñas (Maynard & Kuempel, 2005; G. Oberdörster, Oberdörster, & Oberdörster, 2005a).

El número de partículas y el área superficial de los nanomateriales, se han planteado como los parámetros adecuados para establecer la medición y el seguimiento de los nanomateriales en el aire de zonas de respiración de los trabajadores. Varios investigadores han aportado pruebas de que el área superficial puede ser, en esencia, la medida más adecuada para asociar la dosis con efectos resultantes significativos (Lindberg *et al.*, 2009; G. Oberdörster *et al.*, 2005).

En la lista de imprescindibles para poder evaluar la exposición, está el obtener una medida representativa de lo que realmente está respirando el trabajador (Tanarro, 2010) y poder compararlo con unos valores límites. Pero para ello es necesario, comprender la relación entre los parámetros de los nanomateriales (cantidad, número, área superficial, concentración másica, la distribución de tamaños, forma, composición y reactividad química) y sus efectos toxicológicos y de momento no existe un consenso a nivel internacional (Savolainen *et al.*, 2010). Tanarro (2010) en la misma línea argumenta que en España, no existen límites de exposición publicados, porque entre otras razones, son difíciles de establecer ya que en general no se conocen los niveles para los cuales las nanopartículas tienen efectos sobre la salud, debido a la insuficiencia de estudios epidemiológicos y toxicológicos. Tampoco hay límites o recomendaciones específicas para el monitoreo biológico de nanomateriales (Nasterlack, Zober, & Oberlinner, 2008; National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 2009; P. Schulte, Geraci, Zumwalde, Hoover, & Kuempel, 2008).

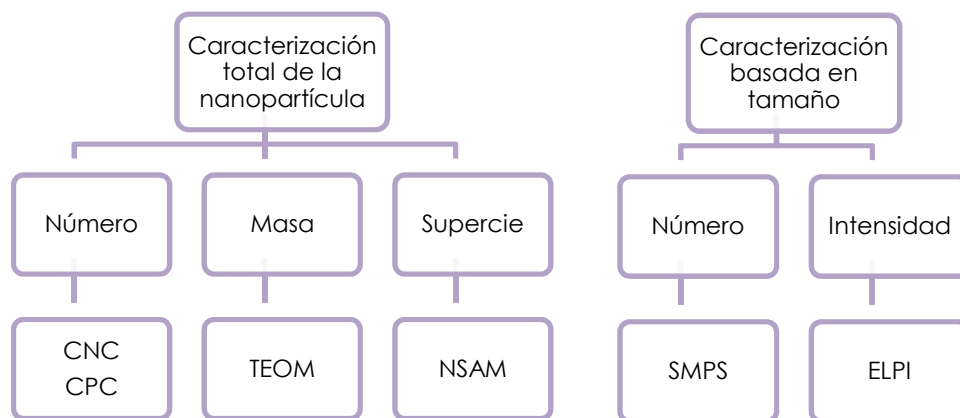
Sin embargo, existen propuestas para valores límite ambiental, por ejemplo la guía práctica de niveles desarrollada por British Standard Institution. En ella, partiendo de los valores límite conocidos para el material padre, se estima para los nanomateriales insolubles un $0,066 \times \text{VLA}$ y para los solubles $0,5 \times \text{VLA}$, para los nanomateriales derivados de compuestos mutagénicos, carcinogénicos o que alteren la función reproductiva $0,1 \times \text{VLA}$ y para los nanomateriales fibrosos $0,01 \text{ fibra/ml}$ (British Standards Institution (BSI), 2007).

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (2011) por su parte, recomienda una exposición para dióxido de titanio, con un tamaño inferior a 100nm , de 3mg/m^3 y para partículas mayores de 100nm , $2,4 \text{ mg/m}^3$. En cuanto a los nanotubos, existen distintas propuestas: un límite de $0,05 \text{ mg/m}^3$ para los nanotubos multipared tipo Baytubes® (Pauluhn, 2010), un límite de $0,0025 \text{ mg/m}^3$ para los nanotubos multipared Nanocyl® (Nanocyl, 2009) y para los nanotubos de carbono de pared simple o múltiple (en general) un límite de $0,007 \text{ mg/m}^3$ (National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 2010). Todos estos valores son para jornadas de 8 horas.

Por último, explicar que los instrumentos, técnicas y medidas tradicionales de muestreo de aerosoles no son la mejor solución para la evaluación de la exposición a un

aerosol de partículas nanoestructuradas (Maynard & Kuempel, 2005; G. Oberdörster *et al.*, 2005a). En la Gráfica 3 se muestra una clasificación de los instrumentos para la cuantificación de la exposición ambiental de aerosoles.

Gráfica 3: Instrumentos para la cuantificación de la exposición ambiental de aerosoles.



Fuente: basado en (International Organization for Standardization (ISO), 2007)

Tapered element oscillating microbalance (TEOM)

Este instrumento permite una medición automática de la concentración másica del aerosol y es actualmente el único que la realiza en una sola operación (Patashnick, Meyer, & Rogers, 2002). El TEOM es el instrumento de referencia para las estaciones de monitoreo de calidad del aire ambiental. El PM₁₀, PM_{2.5} y PM₁ (PM_x Particulate Matter size) permiten el muestreo de aerosoles ambientales con diámetros aerodinámicos de corte de 10, 2,5 ó 1 µm. Por otra parte, el peso y el tamaño de los equipos de TEOM implican que sólo se puede utilizar para la toma de muestras estáticas ambientales (Parikh, 2000).

Scanning mobility particle sizer (SMPS)

El SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) consta de un detector que suele ser un CPC (contador de partículas por condensación) o electrómetro y un clasificador electrostático que permite la separación por tamaño de partícula. En primer lugar, las partículas pasan a través de una fuente radiactiva después pasan por un campo electrostático que las separa en función de su diámetro, con lo que finalmente se obtiene una distribución por tamaño de partícula, además en ciertas circunstancias los datos se pueden interpretar en términos de área superficial del aerosol (Tanarro, 2013).

El rango de medida se extiende desde unos pocos nanómetros hasta la micra. El considerable tamaño y peso del instrumento, hace que su uso se limite al muestreo ambiental. Además, en algunos países europeos, la presencia de una fuente radioactiva restringe aún más su uso para aplicaciones de laboratorio (Heim, Kasper, Reischl, & Gerhart, 2004).

Electrical low pressure impactor (ELPI)

El ELPI (Electrical Low Pressure Impactor) es capaz de monitorear en tiempo real. Su peso restringe su uso al muestreo ambiental en un lugar fijo. Además, al igual que el impactador de cascada, se puede llevar a cabo un análisis más detallado de las partículas recogidas en cada etapa (Heim *et al.*, 2004; Marjamäki, Keskinen, Chen, & Pui, 2000).

Con el ELPI se obtiene una distribución por tamaño de partícula y concentración en el rango entre los 7 nm y las 10 micras. Las partículas muestreadas se cargan mediante un cargador de corona y pasan al impactador donde las partículas se separan por diámetro aerodinámico en cada etapa del impactador. Finalmente se pueden obtener la distribución en número por tamaño medio de partícula y si se conoce la carga y densidad de las partículas, también se puede calcular la concentración másica de aerosol (Tanarro, 2013).

Condensation particle counter (CPC) o condensation nuclei counter (CNC)

Los CPCs proporcionan concentración en número, en tiempo real, dentro de sus límites de detección por tamaño de partícula. Sin un separador previo para nanopartículas, no son específicos del rango nanométrico. Algunos equipos comerciales tienen separadores por debajo de 1 μm (Tanarro, 2013). Esta detección de la concentración en número la realizan mediante detección óptica láser del aire muestreado mediante sin discriminar los tamaños de partículas (Heim *et al.*, 2004; Marjamaki *et al.*, 2000).

Nanoparticle surface aerosol monitor (NSAM)

El peso del instrumento restringe su uso al muestreo estático medioambiental. Sin embargo una versión de campo del NSAM (TSI 3550) ha sido comercializada recientemente (Fissan, Neumann, Trampe, Pui, & Shin, 2007; Shin, Pui, Fissan, Neumann, & Trampe, 2007).

NANODEVICE: Propuesta de Solución

Las carencias en general de los sistemas anteriores entre otras son:

- Excesivo peso de los aparatos para que lo transporten los trabajadores.
- La dificultad de distinguir entre las partículas ultrafinas y aquellas procedentes realmente de la exposición laboral (Tanarro, 2010) . Las partículas de fondo pueden ser de origen natural como la condensación del vapor en la atmósfera o originadas por la actividad humana como las emisiones de la quema de combustibles. Las partículas de fondo deberían ser eliminadas, especialmente cuando se mide la concentración numérica de partículas (Houghton *et al.*, 2001). Esta discriminación entre es importante, ya que la capacidad de analizar estos efectos es el requisito previo de la fijación de límites de exposición profesional, esto último ha sido discutido por (Bergamaschi, 2009; P. A. Schulte *et al.*, 2008).
- El requerimiento de personal cualificado para el uso de los instrumentos.
- Falta de rapidez a la hora de recoger datos.
- No miden los diámetros nanométricos.
- Caros.

En definitiva, como solución a las carencias de los sistemas recogidos con anterioridad se ha llevado a cabo el proyecto NANODEVICE. Así se denomina a un programa financiado por la Comisión Europea dentro del Séptimo Programa Marco, con el objetivo de desarrollar conceptos y métodos para la medición y caracterización de la nanopartículas en el aire con nuevos dispositivos portátiles, fáciles de usar en los lugares de trabajo, económicos y versátiles a la hora de realizar mediciones (caracterización completa, tiempo real, etc.). El proyecto ha finalizado en marzo de 2013 con el desarrollo de los sistemas que se presentan en la Tabla 8 (NANODEVICE, 2013b).

Tabla 8: Nuevos sistemas de medida desarrollados en el proyecto NANODEVICE

Nombre del dispositivo	Medidas	Nivel de desarrollo
Low-cost total active surface area monitor 	Área total superficial activa.	Pre-prototipo operativo
NanoGuard 	Medición en línea del número de partículas, el área superficial concentrada depositada en los pulmones y la distribución del tamaño de partícula. En un periodo corto (1-30 min) y también para turnos completos (8h) muestreando la morfología de las partículas y su química, consiguiendo una distinción de las partículas de fondo.	Prototipos de trabajo que requieren un ordenador portátil.
NanoGuard Samplers ESP, TP and Cyto-TP 	ESP y TP: tamaño de partícula, la concentración, morfología y composición química. Cito-TP: viabilidad celular después de la exposición a la a la exposición de nanopartículas.	Todos los prototipos Samplers en pleno funcionamiento, ESP tiene potencial para convertirse más pequeño y ligero.
Real-Time CNT Monitor	Número de concentración. También es posible calcular la concentración en masa de nanotubos de carbono.	Cerca de mercado

Continúa en la página siguiente

Personal Nano-sampler
Muestrador personal



Sampler(offline) /
Pre-separator(online) for aerosol
fraction deposited
by diffusion in the anterior nasal
region.

Muestrador personal



Sampler (offline) /
Pre-separator (online)
for aerosol fraction deposited in the
gas-exchange region

Muestrador personal



NanoDevice



MEMS-based airborne nanoparticle
sensor

Concentración de la masa y
distribución de tamaño.

Cerca de mercado

Offline sampler: Composición
química de la fracción del
aerosol especificando el
rango del tamaño.
Pre-separador online:
concentración del aerosol
en cualquier medida que el
monitor realice.

Pre-prototipo

Offline sampler: Composición
química de la fracción de
aerosol especificando el
tamaño.
Pre-separador online:
concentración del aerosol
en cualquier medida que el
monitor realice.

Pre-prototipo

Tamaño y número de
partículas.

Adaptación para otras
aplicaciones (al aire libre)

Concentración de masa y
composición química.

Etapla temprana / todavía en
el laboratorio

Continúa en la página siguiente

Catalytic Activity Aerosol Monitor
(CAAM)



Concentración de actividad catalítica (por unidad de volumen de aire muestreado).

Prueba de concepto / pre-prototipo

CNT-detect



Deposición de CNT-selectiva seguida por análisis Raman.

Pre-prototipo

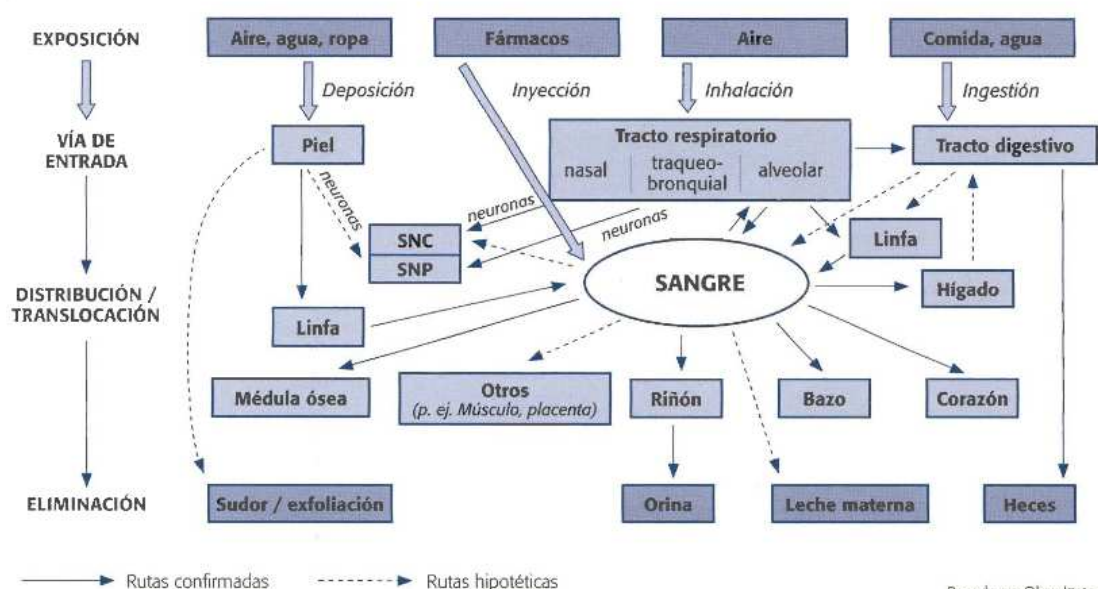
Fuente: (NANODEVICE, 2013a)

2.2 DAÑOS PARA LA SALUD

2.2.1 TOXICOCINÉTICA

Conocido el modo de exposición, es necesario para determinar la toxicología de las nanopartículas definir las vías de entrada y los procesos de adsorción, distribución y eliminación de la nanopartícula dentro del organismo (Gálvez & Tanarro, 2010). En la Figura 13, se resume las principales vías de exposición, procesos de distribución y eliminación de las nanopartículas en el organismo.

Figura 13: Biocinética de las partículas nanométricas. Rutas confirmadas e hipotéticas.



Fuente: (G. Oberdörster, Oberdörster, & Oberdörster, 2005b)

2.2.1.1 DEPÓSITO Y ABSORCIÓN DE NANOPARTÍCULAS

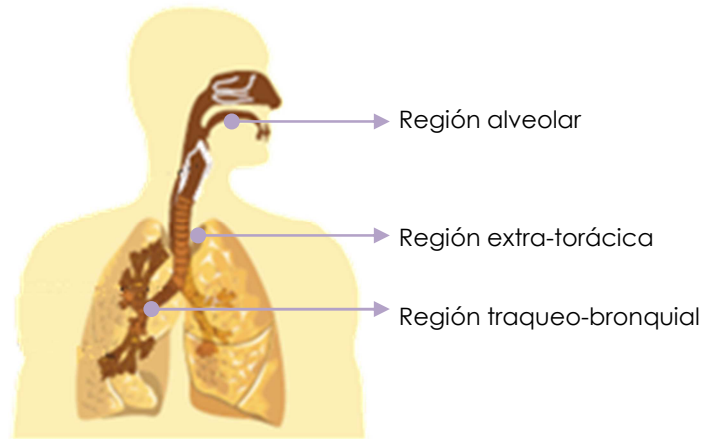
El depósito y absorción de las nanopartículas al organismo se produce por tres vías principales: la vía inhalatoria, dérmica y digestiva (Datta, 2006). La evaluación de riesgos requiere una comprensión de los procesos de transporte entre la fuente y el receptor y cómo éstos modifican las características de los nanomateriales (Seipenbusch, Binder, & Kasper, 2008).

VÍA INHALATORIA

Los nanomateriales inhalados, dependiendo de su tamaño, forma y composición química, son capaces de penetrar y depositarse en las diferentes partes del árbol respiratorio: la región extra-torácica (boca, fosas nasales, la laringe y faringe), la región traqueo-bronquial, (de la tráquea a los bronquios) y la región alveolar que comprende (desde los bronquiolos a los alvéolos) (Rosell & Pujol, 2008). En la Figura 14 se localizan de forma orientativa las partes mencionadas del árbol respiratorio. En la Gráfica 4 se muestra

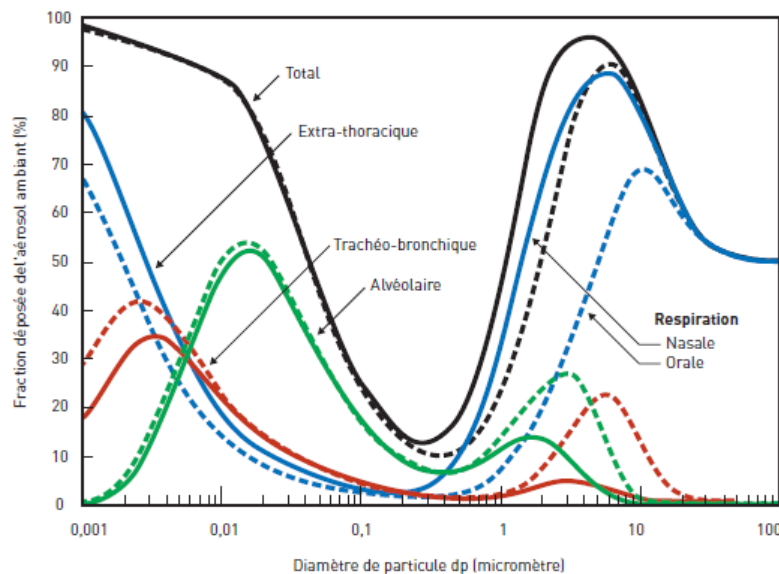
como cambia la cantidad depositada en distintas partes del árbol respiratorio en función del diámetro de las partículas y del modo de respiración (nasal u oral).

Figura 14: Partes del árbol respiratorio



Fuente: Basada en (Ricaud & Witschger, 2012)

Gráfica 4: Depósito total y por regiones de las nanopartículas en función del diámetro de las partículas calculado con modelo de la CIPR



Fuente: (CIPR - Commission Internationale pour la protection Radiobiologique, 1994)

Las curvas corresponden a un sujeto de referencia respirando mayormente por la boca o la nariz y pasando un tercio del tiempo sentado y el resto realizando una actividad ligera.

Witschger & Fabriès (2005) analizan y obtienen las siguientes conclusiones respecto de la Gráfica 4:

- Las partículas de alrededor 0,3 nm aproximadamente son las que menos se depositan. Por debajo de 300 nm la deposición crece significativamente. Las partículas superiores a 10 nm se depositan mayormente en la región alveolar y las

que son inferiores a 10nm se depositan principalmente en la región extratorácica y en una menor medida en la región traqueo bronquial.

- La región comprendida entre 10 nm y 200 nm el modo de respiración (boca o nariz) apenas tiene repercusión.

La deposición de las partículas puede tener lugar como consecuencia de la sedimentación gravitatoria, la impactación inercial, la intercepción de las partículas con la superficie de contacto, por fenómenos de difusión relacionados con los movimientos aleatorios de las partículas muy finas y por la atracción electrostática debida a su carga (Rosell & Pujol, 2008). Además la morfología del aparato respiratorio, las características fisiológicas de la persona como el sexo, la edad y las enfermedades en el aparato respiratorio también influyen en la cantidad de partículas absorbidas y depositadas (Witschger & Fabriès, 2005).

VÍA DÉRMICA

En relación a la absorción dérmica y la penetración de nanopartículas en la piel existen pocos estudios, y además tienen resultados contradictorios, por lo que es necesaria una mejor evaluación de esta vía de entrada. Probablemente estas discrepancias se deban a las técnicas y métodos empleados, las condiciones de laboratorio y a la ausencia de protocolos de evaluación estandarizados (Crosera *et al.*, 2009).

Dependiendo de las características fisicoquímicas del material, las vías de penetración a través de la piel pueden ser: intercelular, transcelular, a través de los folículos de pelo y a través de las glándulas sudoríparas (Scheuplein, 1967).

En particular, las partículas a menor tamaño tienen mayor probabilidad de atravesar la piel (Hoet, Bruske-Hohlfeld, & Salata, 2004). Además la penetración directa a través de la piel ha estado descrita para partículas con un diámetro de 1000 nm (1 μ m), por tanto es razonable pensar que las nanopartículas penetrarán con mayor facilidad (Rosell & Pujol, 2008).

Además hay que tener en cuenta que como consecuencia de lesiones inflamatorias o traumatismos aumenta la probabilidad de la penetración por la piel de las nanopartículas. También se puede ver favorecida por el sudor, la irritación local o la flexión natural de la piel (Gálvez & Tanarro, 2010).

VÍA DIGESTIVA

Las nanopartículas manipuladas en el trabajo, podrían ser ingeridas involuntariamente. Las partículas ingeridas pasarían a través de varias partes del tracto digestivo, boca, esófago, estómago, intestino delgado, intestino grueso y por último serían excretadas (Datta, 2006). Respecto de los efectos específicos para la salud relacionados con la ingestión de nanopartículas, debido a malas prácticas higiénicas durante el manejo de nanomateriales o por la deglución de las retenidas en las vías altas de sistema respiratorio, podría manifestarse efectos locales de las nanopartículas en cualquier sitio del recorrido del sistema digestivo y excretor, pero sin embargo no se han descrito efectos (Datta, 2006; Rosell & Pujol, 2008).

2.2.1.2 TRANSPORTE

Una propiedad específica de las nanopartículas es la translocación, Gálvez & Tanarro (2010) la definen como el proceso mediante el cual las nanopartículas atraviesan las barreras biológicas y les permiten aparecer en otras partes del organismo distintas de las de entrada, pero manteniendo su integridad, es decir sin que se produzca disolución.

Para evaluar la translocación o distribución de estos materiales en el cuerpo se debería evaluar también la capacidad de atravesar las barreras internas sangre-barrera cerebro, sangre-barrera placenta, sangre- barrera testicular, y otras (Baroli *et al.*, 2007; Cedervall, Lynch, Foy *et al.*, 2007; Cedervall, Lynch, Lindman *et al.*, 2007).

Estudios sugieren que las nanopartículas inhaladas pueden ser translocadas desde los pulmones a cualquier otro órgano a través del sistema cardiovascular y el sistema nervioso (Hoet *et al.*, 2004; Luther, 2004). También se considera probable o al menos posible el acceso desde la dermis a la circulación linfática y sanguínea (Gálvez & Tanarro, 2010).

Las partículas ingeridas son generalmente absorbidas desde el tracto gastrointestinal, dependiendo del tamaño de partícula y de su carga superficial, penetran a través de la mucosa del tracto digestivo e ingresan a través del torrente sanguíneo o el sistema linfático pudiendo posteriormente viajar a diversos órganos (Hoet *et al.*, 2004; Luther, 2004).

La acumulación y la distribución de nanopartículas son factores importantes a la hora de afectar a ciertos órganos en concreto (Gálvez & Tanarro, 2010). Por ejemplo, una vez que la nanopartículas han alcanzado el sistema circulatorio pueden ser distribuidas a cualquier parte del cuerpo mediante translocación al cerebro y a la sangre, y esto puede causar efectos en otros órganos como el sistema cardiovascular, el bazo y el hígado (Donaldson *et al.*, 2005). También se pueden ver afectados otros órganos como los del retículo endotelial, el corazón, los riñones, e incluso el bulbo raquídeo, por la translocación de partículas sólidas desde el tracto respiratorio a través de los axones neuronales (Gálvez & Tanarro, 2010) o al cerebro a través del nervio olfativo (Rosell & Pujol, 2008).

2.2.1.3 METABOLIZACIÓN Y ELIMINACIÓN

La toxicidad de los nanomateriales inhalados depende en parte de su depósito en el árbol respiratorio (región y cantidad), pero igualmente de la capacidad de éste último de eliminarlos totalmente o parcialmente. Dos procesos están implicados:

- La eliminación química: consiste en la eliminación de los nanomateriales solubles en los fluidos biológicos.
- La eliminación física: consiste en el transporte de los nanomateriales no solubles o poco solubles hacia uno o varios otros sitios del organismo.

Por ejemplo nanopartículas insolubles que se depositan en las vías aéreas superiores y en el árbol traqueo bronquial son principalmente eliminados por transporte mucociliar en dirección de la nariz y de la boca. Posteriormente, pueden ser deglutidos (y acceder al sistema digestivo) o ser expulsados hacia el exterior (estornudos o mucosidades). A nivel de los alveolos pulmonares, son los macrófagos que se encargan de eliminar los nanomateriales

insolubles mediante la fagocitosis, actuando con menos eficacia según varios estudios sobre nanobjetos individuales (Ricaud & Witschger, 2012).

2.2.2 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN LA SALUD

La Comisión Europea y la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE) ha propuesto los métodos para la evaluación de las propiedades toxicológicas, tales como toxicidad aguda y crónica, sensibilización, toxicidad reproductiva, genotoxicidad o carcinogenicidad de los productos químicos en general. Estos métodos se dividen en cuatro grupos (Organisation for Economic and Co-operation and Development (OECD), 2013b):

- **Métodos in vivo:** se trata de administrar a animales a través de distintas vías, el producto químico en concreto y determinar los efectos que en la salud les producen (Kaluza *et al.*, 2008). Existe una necesidad importante de validar los test in vivo en el campo de los nanomateriales, ya que las interacciones de estos con macromoléculas u otros componentes biológicos sólo pueden ser explorados adecuadamente en modelos in vivo (Cliff, Gehr, & Rothen-Rutishauser, 2011; Committee ES, 2011; Fischer & Chan, 2007). Los test in vivo son caros, requieren de mucho tiempo y también conllevan cuestiones éticas (Dusinska, Magdolenova, & Fjellsbo, 2013).
- **Epidemiología/ medicina ocupacional:** son los indicios de los efectos en humanos provocados por factores exógenos. Las incertidumbres sobre la extrapolación de los resultados en animales a personas se evitan investigando los efectos directamente en la población humana (Kaluza *et al.*, 2008).
- **Métodos in vitro:** pocos intentos se han realizado para validar los resultados de los efectos tóxicos de los estudios in vitro a in vivo (Sayes, Reed, & Warheit, 2007). Con los sistemas in vitro se puede predecir la toxicidad de los nanomateriales en humanos, además, son fáciles de controlar los parámetros y reproducir ambientes determinados que en los sistemas in vivo (G. Oberdörster *et al.*, 2005). La OECD propone test in vitro pero con limitaciones a la hora de evaluar los riesgos biológicos de los nanomateriales. La toxicidad con ensayos in vitro puede ser evaluada con distintos tipos de cultivos de células (mono, ratón, humano...)(Dusinska *et al.*, 2013).
- **Métodos para la determinación de las propiedades físico químicas:** Se trata de conocer las propiedades fisicoquímicas que sugieren indicar propiedades toxicológicas (Kaluza *et al.*, 2008).

La idoneidad de estos métodos para investigar los efectos en la salud de los nanomateriales es muy cuestionada, en particular se hace hincapié en la necesidad de un método más detallado para la determinación de las propiedades físico químicas, ya que es importante discriminar con claridad los nanomateriales que difieren en las características específicas respecto de su tamaño macro. Además, hay que tener en cuenta que la preparación de la muestra antes de la prueba puede tener influencia en los resultados debido a la aglomeración y la solubilización (European Commission, 2006a; European Commission, 2006c).

2.2.3 EFECTOS SOBRE LA SALUD

Los factores que influyen en la toxicidad de las nanopartículas depende de: los factores ligados a la exposición, al propio organismo y a los nanomateriales (Ricaud & Witschger, 2012).

- **Los factores ligados a la exposición:**
 - Las vías de entrada.
 - Duración.
 - Frecuencia de la exposición.
- **Los factores ligados al propio organismo:**
 - Susceptibilidad individual.
 - Realización de actividad física en el lugar de trabajo.
 - Lugares de depósito de los nanomateriales.
 - La evolución y la translocación de los nanomateriales una vez que han penetrado en el organismo.
- Ostiguy, Roberge, Ménard, & Endo (2009) listan los **factores ligados a los nanomateriales** :
 - Número de partículas.
 - Concentración.
 - Propiedades de superficie.
 - Reactividad.
 - Presencia de metales/potencial Redox.
 - Potencial para generar radicales libres.
 - Porosidad.
 - Biopersistencia.
 - Hidrosolubilidad.
 - Depósito pulmonar.
 - Fuentes y procesos de los materiales usados.
 - **Composición química:** este es uno de los parámetros que obiamente determina las propiedades toxicológicas. Cuanto más tóxico sea el material a tamaño convencional más tóxico será también a tamaño nanométrico (Gálvez & Tanarro, 2010). Además la toxicidad se ve afectada por la presencia de otros compuestos químicos, por ejemplo, los nanotubos de carbono de pared simple que tienen más de un 20 % en peso de hierro, inducen una inflamación pulmonar mayor que si están purificados (International Organization for Standardization (ISO), 2008).
 - **Solubilidad:** algunas nanopartículas se disuelven más rápido que otras en los fluidos biológicos. Al disolverse pierden la estructura de nanopartícula y por tanto las propiedades toxicológicas específicas de estas (Gálvez & Tanarro, 2010).
 - **Tamaño y distribución granulométrica:** en general en cuanto más pequeña es la nanopartícula más aumenta el área por unidad de superficie y el número de átomos en ella por lo que aumenta también la reactividad. Y en general cuanto más reactiva es una sustancia más tóxica es (Gálvez & Tanarro, 2010).
 - **Superficie (cobertura y área):** cuanto mayor superficie específica de una partícula mayor reactividad (Gálvez & Tanarro, 2010).

- **Forma (fibra, filamento, irregular, compacta o esférica):** en términos generales la toxicidad es mayor en nanopartículas en forma tubular, seguidas de formas irregulares y es menor para la nanopartícula esférica (considerando iguales el resto de parámetros toxicológicos) (Gálvez & Tanarro, 2010). Por ejemplo International Organization for Standardization (ISO) (2008) observó que la citotoxicidad en nanotubos de carbono de pared simple es mayor que la múltiple y estos con respecto de los fullerenos C₆₀.
- **Estructura cristalina:** la cristalinidad para los compuestos orgánicos (como la sílice) puede contribuir a modular las propiedades toxicológicas (Gálvez & Tanarro, 2010).
- **Grado de aglomeración/ agregación:** las nanopartículas tienen tendencia a aglomerarse o a agregarse, de hecho, no suelen encontrarse solas (G. Oberdörster *et al.*, 2005b). Esto influye en la toxicidad ya que, por ejemplo, un agregado de nanopartículas se depositará en una u otras zonas del tracto respiratorio dependiendo de su estado de agregación o aglomeración que le hace tener un diámetro aerodinámico determinado (Gálvez & Tanarro, 2010).
- **Tiempo de las partículas:** Debe tenerse en cuenta que, en caso de una fuga en el circuito cerrado o en el encerramiento del proceso, las nanopartículas se comportarán como un gas y se dispersarán, pero con el paso del tiempo las nanopartículas se aglomeran, por lo que disminuye su dispersión (Rosell & Pujol, 2008).

La asociación entre los efectos tóxicos y dosis es un tema aún pendiente de esclarecer (Savolainen *et al.*, 2010). Esto ha estimulado las iniciativas en investigación sobre las características de los nanomateriales artificiales y correlación con los efectos tóxicos para asegurar un uso seguro de la nanotecnología (Borm *et al.*, 2006; Donaldson *et al.*, 2005; Hoet *et al.*, 2004; Maynard *et al.*, 2004; Maynard & Aitken, 2007; Ostiguy, Soucy, Lapointe, Woods, & Ménard, 2008; Yang, Liu, Yang, Zhang, & Xi, 2009).

A continuación se describen algunos de los efectos sobre la salud humana que se han observado en distintos estudios con nanomateriales más representativos que lista la OECD (Organisation for Economic and Co-operation and Development (OECD), 2008).

FULLERENO

Estudios con roedores confirman que los fullerenos C₆₀ inducen enzimas proinflamatorias y la proteína quimiotáctica de monocitos en los pulmones de los mismos (E. Park *et al.*, 2010). También en otros estudios en animales se han observado la aparición de estrés oxidativo por exposición a fullerenos C₆₀ (Sayes *et al.*, 2007).

En un estudio *in vitro*, se llegó a la conclusión de que con la flexión en la piel se incrementa la penetración de nanopartículas en ella (Rouse, Yang, Ryman-Rasmussen, Barron, & Monteiro-Riviere, 2007).

Y por último, no se han encontrado estudios epidemiológicos con respecto a los fullerenos (Boutou-Kempf, 2010).

NANOTUBOS DE CARBONO (DE PARED SIMPLE Y MÚLTIPLE)

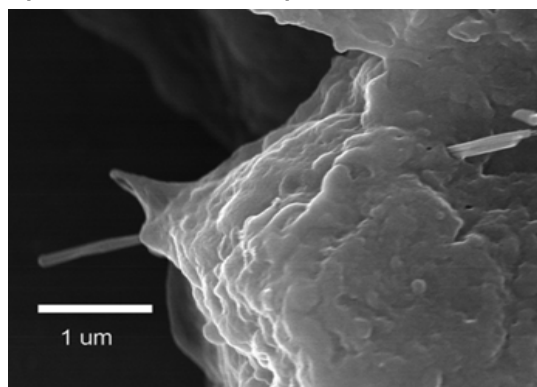
Estudios con ratones muestran que los nanotubos multipared inducen estrés oxidativo, inflamación, granulomas y fibrosis en los pulmones. (Lam, James, McCluskey, Arepalli, & Hunter, 2006; J. -. Li *et al.*, 2007; Muller *et al.*, 2008a; Muller *et al.*, 2008b; Shvedova *et al.*, 2005; Shvedova *et al.*, 2009). En otro estudio se observó efectos vasculares en ratones transgénicos predispuestos a la aterosclerosis a los cuales se les dio una dieta rica en grasas y fueron expuestos por instilación intratraqueal a nanotubos de carbono de pared simple (Z. Li *et al.*, 2007).

Debido a las propiedades de los nanotubos de carbono, se considera que nanomateriales con propiedades fibrogénicos podrían inducir cáncer. De hecho se ha demostrado que en ratones, que la capacidad de los nanotubos multipared de carbono para inducir mesoteliomas supera la capacidad del amianto crocidolita. En la Figura 15 se aprecia el potencial que tienen los nanotubos de poder producir mesoteliomas al dañar el epitelio pulmonar (Poland *et al.*, 2008; Takagi *et al.*, 2008). Sin embargo estos estudios son puestos en cuestión, entre otras razones, porque los nanotubos de multipared son introducidos a través del peritoneo y no por los pulmones, aunque se reconoce que son un acercamiento y son una información útil (Kane & Hurt, 2008). Otro estudio posterior, también en la misma línea, indica que tienen más potencial para inducir mesoteliomas los nanotubos de multipared en ratones que comparado dosis de crocidolita.

En un estudio in vitro se observó que podían inducir efectos tóxicos como, la alteración de la integridad del ADN (Jos *et al.*, 2009). Los nanotubos han demostrado también evadir la fagocitosis, (Mercer *et al.*, 2008) y tener la capacidad de ser filtrados por los riñones y excretados (Singh *et al.*, 2006).

En relación a los estudios epidemiológicos no se han encontrado ninguno con respecto a los nanotubos (Boutou-Kempf, 2010).

Figura 15: Epitelio pulmonar atravesado por un nanotubo de carbono multipared.



Fuente: cortesía de R.Mercer NIOSH utilizada por (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2011)

NANOPARTÍCULAS DE PLATA

Las nanopartículas de plata pueden provocar edemas pulmonares y manchas marrones en la piel y en los órganos del cuerpo (argiria). Además hay indicios de que las nanopartículas de plata pueden penetrar en la piel y que tienden a acumularse en el hígado (pero también en otros órganos) (ENRHES, 2011). Además las nanopartículas de plata

de (15 a 100nm) producen estrés oxidativo en las células hepáticas (Hussain, Hess, Gearhart, Geiss, & Schlager, 2005).

Takenaka et al (2011) estudió la translocación de partículas de plata con inhalación o instilación intratraqueal. Una vez inhaladas se transportaron muy rápido por la sangre y se concentran mayormente en las cavidades nasales y en los ganglios linfáticos pulmonares, y con menos intensidad en el bazo, corazón, cerebro, riñón e hígado. Y después de la instilación se observaron acumulación de partículas de plata en los macrófagos alveolares.

Respecto a la acumulación de las nanopartículas de plata, Kim et al. (2008) observó con diferencias según el sexo que en los riñones de ratas se producía una acumulación de éstas tras recibirlas por vía oral durante 28 días. En otro estudio con un paciente joven tratado con una semana con apósitos con nanopartículas de plata de 15nm, se observó niveles altos acumulados en el plasma y en la orina (Trop et al., 2006).

Por otro lado, la preocupación sobre el posible desarrollo de resistencia a los antibióticos debido a un mayor uso de nanoplata, así como los posibles efectos adversos en los procesos de tratamiento de aguas residuales, está en aumento, pero aún no está confirmado (European Commission, 2013b).

NANOPARTÍCULAS FÉRREAS

La nanopartícula de óxido de hierro de 10nm en los fibroblastos de la piel humanas, causando perturbaciones al citoesqueleto y reduciendo su proliferación (Barry, 2001).

Baroli et al. (2007) realizó un ensayo in vitro con células de piel humana con dos tipos diferentes de nanopartículas basadas en hierro de menos de 10nm, del cual concluyó que podían alcanzar las capas profundas de la epidermis, de la capa granular e introducirse en los folículos del pelo.

NEGRO DE CARBÓN

La Agencia Internacional de Investigación en el Cáncer de la Organización Mundial de la Salud, clasifica al negro de carbón como un posible carcinogénico para los humanos (International Agency for Research on Cancer (IARC), 2010). Además existen evidencias de que el exceso de mortalidad por cáncer de pulmón puede ser debido a la exposición al negro de carbón (ENRHES, 2011).

Niwa, Hiura, Murayama, Yokode, & Iwai (2007) encontraron efectos cardiovasculares como consecuencia a la exposición al negro de carbón.

Varios estudios en animales han observado la aparición de estrés oxidativo por exposición a negro de carbón (X. Y. Li, Brown, Smith, MacNee, & Donaldson, 1999). Y en ratas se ha observado hiperplasia epitelial (Lademann et al., 1999).

Existen pocos estudios epidemiológicos sobre los efectos en la salud respiratoria del negro de carbón (Hodgson & Jones, 1985; Sorahan, Hamilton, Van Tongeren, Gardiner, & Malcolm Harrington, 2001).

DIÓXIDO DE TITANIO

El dióxido de titanio ha sido clasificado como grupo 2B carcinogénico (posible carcinogénico para los humanos)(International Agency for Research on Cancer (IARC), 2006).

(Ferin, Oberdorster, & Penney, 1992; Oberdorster, Cherian, & Baggs, 1994) han realizado estudios con ratas y con partículas de dióxido de titanio de 250nm y de 20nm y se observó alteraciones en la función de los macrófagos alveolares y era más notable en las partículas más pequeñas. Estudios con roedores han observado que el dióxido de titanio es susceptible de producir fibrosis pulmonar.

(ENRHES, 2011; National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 2011) indican con estudios animales que producen inflamación, oxidativo y genotóxico para los pulmones a altas dosis. Una exposición crónica induce el desarrollo de tumores. (Trouiller, Reliene, Westbrook, Solaimani, & Schiestl, 2009) muestra en estudios animales genotoxicidad por administración por vía oral.

Respecto a los efectos en la piel por exposición a nanopartículas de dióxido de titanio, existen contradicciones sobre su toxicidad:

Por un lado, en estudios in vivo con diferentes formulaciones de dióxido de titanio concluyó que no se esperan efectos para la salud por las aplicaciones de cremas solares con contenido de estas nanopartículas, a excepción de la piel atópica, quemada o con psoriasis, que no está totalmente demostrado (NANODERM, 2007). En la misma línea (Kiss *et al.* (2008) no observaron ninguna evidencia en la penetración del dióxido de titanio a través de la piel en estudios in vivo.

Por el contrario Kertesz *et al.* (2005) encontraron que las nanopartículas de dióxido de titanio podían penetrar a capas corneocitas del estrato córneo. Además las dosis de estas nanopartículas afectan a la penetración en las capas de la piel (Lademann *et al.*, 1999; Pflücker *et al.*, 2001; Takenaka *et al.*, 2001).

ÓXIDO DE ALUMINIO

Respecto de los efectos del óxido de aluminio, se han encontrado algunas contradicciones sobre sus efectos, por ejemplo según Alshatwi *et al.* (2013) son tóxicas porque produce estrés oxidativo mitocondrial y altera las enzimas antioxidantes en los humanos, según la dosis. Y por otro lado, en un estudio con ratones a los cuales se les administró durante 28 días óxido de aluminio tanto en dosis altas como en bajas, sólo se apreciaron algunos cambios de pequeña magnitud, los cuáles no se salieron de los márgenes actuales (Shumakova *et al.*, 2012).

ÓXIDO CERIO

Estudios in vitro con células pulmonares demuestran que las nanopartículas de óxido de cerio disminuyen la viabilidad celular e inducen estrés oxidativo (W. Lin, Huang, Zhou, & Ma, 2006).

SÍLICE AMORFO SINTÉTICO (DIÓXIDO DE SILICIO, SiO₂)

Pruebas con animales muestran que el dióxido de silicio amorfo precipitado a altas dosis puede inducir inflamación, citotoxicidad y daño en los tejidos de los pulmones (Chen, Chen, Dong, & Jin, 2004; Kaewamatawong *et al.*, 2005; Warheit, Webb, Colvin, Reed, & Sayes, 2007).

Es preciso distinguir el dióxido de silicio amorfo precipitado (de tamaño desde 1nm a 100nm) de la sílice cristalina respirable, de la cual se ha demostrado que genera enfermedades pulmonares como la silicosis (European Commission, 2003).

POLIESTIRENO

Según (Dailey *et al.*, 2006) el poliestireno produce inflamación pulmonar. Además las nanopartículas de poliestireno de 20nm a 200nm se acumulan en los folículos según un estudio realizado in vitro con células de oreja de cerdo (Alvarez-Román, Naik, Kalia, Guy, & Fessi, 2004).

DENDRÍMEROS

Es difícil generalizar sobre la toxicidad de los dendrímeros ya que existen muchos tipos y están siendo estudiados (Duncan & Izzo, 2005).

Según H. T. Chen, Neerman, Parrish, & Simanek (2004) la citotoxicidad de los dendrímeros depende de la química de su corazón. Por tanto, cuantas menos generaciones tenga podrá ser más tóxico ya que su corazón está más accesible a las células (Duncan & Izzo, 2005).

Sin embargo, (Roberts, Bhalgat, & Zera, 1996) refuta este último estudio, ya que estudió la toxicidad de la poliamidoamina PAMAM Stargurst®, uno de los dendrímeros más utilizados en las tres últimas décadas (Malik *et al.*, 2000; Roberts *et al.*, 1996), y concluyó que no había anomalías significativas. De sus estudios se concluye que los dendrímeros catiónicos de baja generación no causan efectos sobre la salud incluso a altas dosis. Apoyando esta tendencia otros estudios llegan a la conclusión de que la toxicidad de los dendrímeros aumenta con la dosis y con las generaciones (Heiden, Dengler, Kao, Heideman, & Peterson, 2007; Malik, Evagorou, & Duncan, 1999). También depende de la carga de la superficie, si es un dendrímero aniónico es menos tóxico comparado con los catiónicos, estos test son in vivo.

Los dendrímeros cargados positivamente, una vez introducidos en el sistema circulatorio, junto a macromoléculas catiónicas interactúan con los componentes de la sangre desestabilizando las membranas de las células y causando lisis celular (Hong *et al.*, 2004; Rittner *et al.*, 2002; Stasko, Johnson, Schoenfisch, Johnson, & Holmuhamedov, 2007).

NANO-ARCILLA

Según un estudio in vitro con nano-arcilla Cloisite Na(+)[®] se encontró que ésta tiene propiedades citotóxicas, porque fue capaz de inhibir el crecimiento celular (Lordan & Higginbotham, 2012).

2.3 INCIDENCIA EN LA SEGURIDAD

En general, al manejar nanopolvos, los efectos catalíticos y el riesgo de fuego o explosión deben de tenerse en cuenta a la hora de evaluar la seguridad, los cuales son tratados en el siguiente apartado (Ostiguy *et al.*, 2006). Sin embargo, otros posibles riesgos deben ser tenidos en cuenta dependiendo del método específico de producción. Por ejemplo, la electrocución asociada a la generación de la electrocución por la generación de un plasma debido al uso de altas corriente o el riesgo de asfixia, que podría originarse por posibles fugas de gases durante algunos procesos (Shakesheff, 2005).

2.3.1 RIESGO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN

La creciente preocupación por el impacto en la salud y la seguridad por el uso de nanopolvos y otros nanomateriales está casi centradas exclusivamente en los potenciales efectos tóxicos. Por lo que, en particular el riesgo de explosión de los nanopolvos casi no se ha abordado (Pritchard, 2004).

A pesar de la falta de conocimiento sobre, la evaluación de los riesgos de incendio y explosión asociados a los polvos ultrafinos, es factible indicar que los nanopolvos presentan mayor riesgo que el mismo material padre en una concentración másica similar, debido al incremento de su área superficial (National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 2005).

Los nanopolvos al tener un área superficial grande, permite a las partículas cargarse fácilmente electroestáticamente incrementando así el riesgo de ignición. Además, debido a el pequeño tamaño de las nanopartículas pueden mantenerse en el aire durante más tiempo y crear nubes de polvo potencialmente explosivas (National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 2005; Royal Society and Royal Academy of Engineering, 2004). Este incremento del área superficial también favorece la actividad catalítica y podría resultar inesperadas reacciones, en algunos casos violentas o explosivas (Ostiguy *et al.*, 2006).

En cualquier caso, es importante considerar otros factores que aumentan la probabilidad de ignición y la violencia de la explosión como la presencia de un disolvente, gas o vapor inflamable en la misma atmósfera, la humedad, concentración de oxígeno, grado de dispersión del polvo, temperatura, etc. (Beck, Glienke, & Mohlmann, 1997; Pritchard, 2004).

El proyecto Nanosafe2 ha llevado a cabo un proyecto sobre la inflamabilidad y explosividad de los nanopolvos. El proyecto ha estudiado la energía mínima de ignición (EMI), la concentración mínima de explosión (CME), la presión máxima de explosión y la constante K_{st} (bar m/s) para los polvos de carbón negro, nanopartículas de aluminio y nanotubos de carbono. Finalmente se evaluó las clases existentes de explosión de polvos como St1 (explosividad débil a moderada) al carbón negro, a los nanotubos de carbono como St2 (fuerte explosividad) y al polvo de aluminio, según el tamaño de la partícula como St2 o St3 (muy fuerte). Además, se llegó a la conclusión de que los nanopolvos de aluminio eran menos explosivo que los micropolvos debido a la capa de óxido que se forma sobre las

nanopartículas y que cuando un nanopolvo tiende a aglomerarse muestra una severidad en la explosión del mismo orden que el micropolvo de la misma sustancia (Bissel *et al.*, 2008).

No obstante, Rosell & Pujol (2008) indican que son muy pocos los nanopolvos que se fabrican en cantidades para las que deba tenerse en cuenta el riesgo de explosión y alcanzar las concentraciones ambientales mínimas necesarias para que se presente el riesgo de explosión, ya que por lo general se fabrican y manipulan cantidades de gramos.

Además Rosell & Pujol (2008) advierten que debido a los cambios que sufren las propiedades de las partículas al ingresar en la categoría de nanopartículas, la extrapolación directa a las nanopartículas de las medidas adoptadas para la prevención de Riesgos en Atmósferas Explosivas: el Real Decreto 400/1996 relativo a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas y el Real Decreto 681/2003 sobre protección de presencia de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo de la presencia de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo (ATEX atmósferas explosivas, 2013) no ofrece las suficientes garantías de seguridad.

2.4 ESTRATEGIAS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

2.4.1 CONTROL BANDING

Ante la dificultad de otro tipo de evaluaciones (cuantitativa), la metodología simplificada, *control banding* (CB) ofrece un proceso simplificado para controlar la exposición de los trabajadores en ausencia de información firme toxicológica y de exposición. Por lo tanto la industria nanotecnológica es una excelente candidata para aplicar esta estrategia debido a la abrumadora incertidumbre sobre los riesgos para salud de los nanomateriales en el trabajo (Zalk, Paik, & Swuste, 2009).

Tanarro (2010) explica cómo es el procedimiento *control banding*:

SEVERIDAD

Primero se calcula la severidad, que se mide a través de un sistema de puntuación, agrupado en 4 grupos en una escala de hasta 100 puntos. La puntuación se obtiene de las aportaciones de 9 factores basados en las características del nanomaterial, con una puntuación máxima de 70 puntos y otros 6 factores basados en las características del material padre, hasta una puntuación máxima de 30 puntos. Cada factor tiene un porcentaje de la puntuación baja, media, alto o desconocido. En la Tabla 9 se resume lo anteriormente citado.

Tabla 9: Cálculo de la puntuación de la severidad.

Factores a considerar de la nanopartícula				
	Bajo	Medio	Desconocido	Alto
Química superficial; reactividad y capacidad de inducir radicales libres.	0	5	7.5	10
Forma.	0 esférica o compacta	5 diferentes formas	7,5	10 fibrosa o tubular
Diámetro.	0 de 40 a 100nm	5 de 11 a 40nm	7,5	10 de 1 a 10 nm
Solubilidad.	0	5 soluble	7.5	10 insoluble
Carcinogenicidad Tanto si es un cancerígeno humano como animal.	0 no carcinogénica		4,5	6 carcinogénica
Toxicidad para la reproducción.	0 no		4,5	6 sí
Mutagenicidad.	0 no		4,5	6 sí
Toxicidad dérmica.	0 no		4,5	6 sí
Capacidad de producir asma.	0 no		4,5	6 sí
Factores a considerar del material padre				
	Bajo	Medio	Desconocido	Alto
Toxicidad. Si no existe un VLA-ED en España se puede acudir a otras listas de valores límite.	2,5 VLA-ED entre 11 y 100 mg/m ³	5 VLA-ED entre 2 y 10 mg/m ³	7,5	10 VLA-ED entre 0 y 1 mg/m ³
Carcinogenicidad.	0 no carcinogénica		3	4 carcinogénica
Toxicidad para la reproducción.	0 no		3	4 sí
Mutagenicidad.	0 no		3	4 sí
Toxicidad dérmica.	0 no		3	4 sí
Capacidad de producir asma.	0 no		3	4 sí

Fuente: (Tanarro, 2010)

PROBABILIDAD

El siguiente paso es calcular la probabilidad, que se mide a través de un sistema de puntuación, agrupado en 4 grupos en una escala de hasta 100 puntos. La puntuación se obtiene de las aportaciones de 5 factores basados en la posibilidad de exposición del trabajador a las nanopartículas en el ambiente. Cada factor tiene un porcentaje de la puntuación baja, media, alto o desconocido. En la Tabla 10 siguiente se resume lo anteriormente explicado.

Tabla 10: Cálculo de la puntuación de probabilidad.

	Bajo	Medio	Desconocido	Alto
Cantidad estimada del nanomaterial durante la tarea	6,25 menor de 10 mg	12,5 entre 11 y 100 mg	18,75	25 mayor de 100mg
Pulverulencia o capacidad de formar nieblas	7,5	15	22,5	30
Número de trabajadores con exposición similar	5 6-10	10 11-15	11,25	15 >15
Frecuencia de las operaciones	5 Mensual	10 semanal	11,25	15 diario
Duración de la operación	5 30-60min	10 1-4horas	11,25	15 >4horas

Fuente: (Tanarro, 2010)

El resultado final de la evaluación da lugar a 4 niveles diferentes de riesgo para los cuales se establecen unas medidas preventivas, tal y como se muestra en la Tabla 11. Estos niveles se determinan en función de la probabilidad con el riesgo potencial de exposición y la severidad de los daños.

Tabla 11: Matriz de decisiones en función de la severidad y la probabilidad.

Severidad	Probabilidad			
	Extremadamente improbable (0-25)	Poco probable (26-50)	Probable (51-75)	Muy probable (75-100)
Muy alta (76-100)	RL3	RL3	RL4	RL4
Alta (51-75)	RL2	RL2	RL3	RL4
Media (26-50)	RL1	RL1	RL2	RL3
Baja (0-25)	RL1	RL1	RL1	RL2

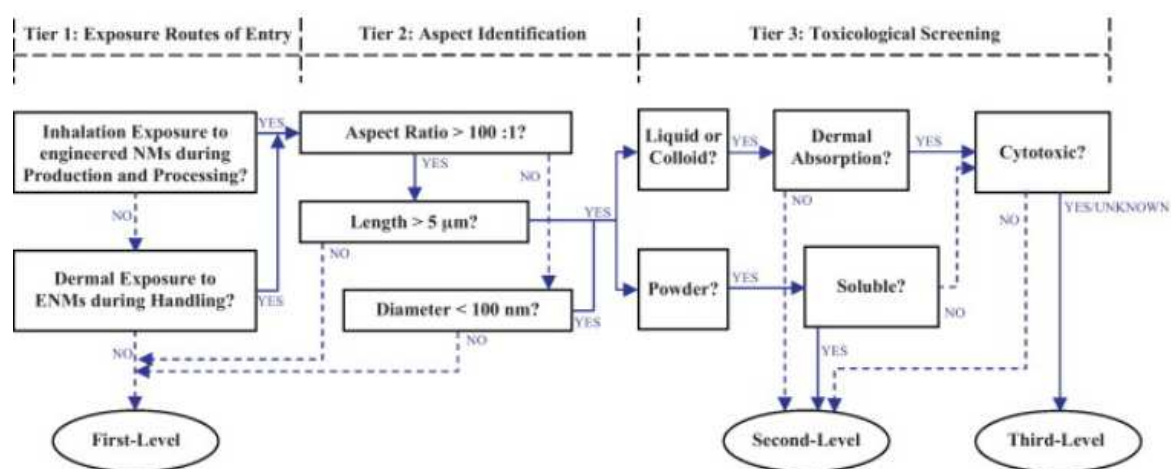
RL1: Ventilación general
 RL2: Ventilación por extracción localizada o campanas de humos
 RL3: Confinamiento
 RL4: Buscar asesoramiento externo

Fuente: (Tanarro, 2010)

2.4.2 OTRAS METODOLOGÍAS

Ling *et al.* (2012) proponen una estrategia para práctica para gestionar los riesgos en la industria que trabaja con nanomateriales. En esta estrategia se definen tres niveles de riesgo, cada uno de estos está relacionado con la implantación de un conjunto de medidas preventivas y de protección (Tabla 12). El proceso a seguir, se muestra en la Figura 16, el cual consta de tres etapas: en la primera se define si existe exposición por inhalación o dérmica a los nanomateriales, en la segunda se identifican aspectos físicos de los nanomateriales (longitud y diámetro) y en la última etapa se identifican el estado de aplicación del nanomaterial (líquido o polvo), propiedades físico químicas y citotóxicas y la posibilidad de absorción dérmica de los nanomateriales.

Figura 16: Esquema de la estrategia de gestión de riesgos



Fuente: Utilizado por (Ling *et al.*, 2012) y basado en (Luther, 2004)

Tabla 12: niveles de riesgo y las medidas preventivas y de protección a tomar.

	Primer nivel de gestión de riesgo	Segundo nivel de gestión de riesgo	Tercer nivel de gestión de riesgo
Control técnico Sustitución de procesos	Prioridad de procesos húmedos respecto de los secos	Sustitución de las operaciones en seco por las húmedas y aislamiento del proceso	Operaciones húmedas y asilamiento del proceso
Control técnico Mejora del proceso Sistemas de ventilación	Protección básica	Evaluación de los parámetros de diseño adecuada Instalación de sistemas de extracción	Determinar los parámetros de diseño adecuado Instalación de sistemas de extracción con sistemas de filtrado
Equipos de protección individual Aparatos respiratorios Otros Monitoreo del ambiente de trabajo Monitoreo de la exposición	Respiradores faciales con filtro Guantes de látex y mono completo Monitoreo general	Guantes de protección química y ropa de protección Monitoreo del polvo respirado	Guantes no porosos o de plástico y ropa de alta protección Monitoreo de la concentración y el tamaño de partículas para sitios con riesgo especial
Exámenes de salud especiales	Evaluación general de salud	Evaluación de la salud por operaciones con generación de polvo	Evaluación de la salud por operaciones con generación de polvo. Exámenes abdominales con ultrasonidos

Fuente: (Ling *et al.*, 2012)

Groso *et al.* (2010) presentan un procedimiento práctico para la gestión de la seguridad y salud de los nanomateriales en un ambiente de trabajo en investigación y desarrollo. Este proceso comienza con un árbol de decisiones que permite clasificar el laboratorio en tres clases de riesgos. A continuación dependiendo de las características de aplicación del nanomaterial (en suspensión, en matriz, aerosol, cantidades, etc.) se definirá un grupo de medidas técnicas y preventivas a tomar. Por ejemplo, en la Figura 17, se muestran las medidas en un laboratorio tipo *nano 3*, el cual debería de tener implantado o utilizar las siguientes medidas y protecciones:

- Operaciones de limpieza en húmedo realizada únicamente por personal de laboratorio y con protección.
- Acceso a las actividades en el laboratorio sólo por personal autorizado.
- Formación básica y continua y procedimientos de trabajo escritos.
- Tratamiento de los residuos en doubles bolsas especiales para residuos tóxicos y almacenamiento en contenedores herméticos.
- Tanto para el transporte como para la eliminación utilizar doble empaquetado.
- Tratamiento de los residuos de forma especial.
- Gafas de montura integral.
- Máscaras con ventilación asistida.
- Mono tipo Tyvek, cubre zapatos.
- Doble par de guantes.
- Suelo de resina.
- Ventilación localizada, baja presión en la habitación y ventilación adecuada.
- Manipulación bajo campana extractora obligatoria.
- Tener un registro de la gente que accede a la zona de trabajo.
- Duchas. Además si la cantidad de partículas ultrafinas es mayor a 100 gramos se dispondrá de doble entrada al recinto de laboratorio, y si la cantidad es menor de 100 gramos se dispondrá de una entrada simple.
- Limpieza por aspiración con filtro adecuado.

Figura 17: Ilustración de personal equipado para trabajar con nanomateriales en un laboratorio clasificado como nano 3.



Fuente: (Groso, Petri-Fink, Magrez, Riediker, & Meyer, 2010)

2.5 CONTROL DE LA EXPOSICIÓN A NANOMATERIALES

Según la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, es obligatorio que el empresario adopte las medidas necesarias y los equipos de trabajo para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores, prestando especial atención a los trabajadores sensibles. Esto implica que el empresario deberá proteger a los trabajadores de los riesgos laborales y en concreto en este caso, de la exposición a nanomateriales (Ministro de Trabajo y Seguridad Social, 1995).

Además en la citada ley, se hace hincapié en la protección que el empresario debe proporcionar a sus trabajadores cuando están expuestos a sustancias con efectos mutagénicos o de toxicidad para la procreación. En un ensayo de toxicidad *in vitro* con espermatogonias, se observó que las nanopartículas de dióxido de titanio provocaban una reducción de la función mitocondrial y aumentaban la necrosis e inducían la apoptosis, lo que conllevaría una reducción de la fertilidad (Lin Ben-Cheng *et al.*, 2007).

Por tanto, para conseguir dicha protección, es necesario controlar la exposición a nanomateriales. Ello se consigue siguiendo la metodología tradicional de la Higiene Industrial, en la cual las medidas a adoptar están jerarquizadas tal y como se esquematiza en la Figura 18 (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010; Tanarro & Gálvez, 2009).

Figura 18: Jerarquía de las medidas a tomar para controlar la exposición a nanomateriales



Fuente: elaboración propia basado en (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010; Tanarro & Gálvez, 2009).

2.5.1 ELIMINACIÓN

Se trata de la primera opción, pero también la más complicada. Si es posible debe plantearse, si las propiedades que se aprovechan de los nanomateriales con una determinadas propiedades compensa la asunción de los posibles riesgos (Tanarro & Gálvez, 2009).

2.5.2 SUSTITUCIÓN DE LAS SUSTANCIAS, PROCESOS Y EQUIPOS

El cambio del nanomaterial puede presentarse complicado, pero hay que tener en cuenta que si sustituimos una sustancia por otra también estamos asumiendo los nuevos riesgos que nos reporte esta última (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010).

A parte de sustituir las sustancias, se pueden sustituir los procesos, por ejemplo para evitar el riesgo de ignición, se obtendrá, manipulará y almacenará a ser posible los nanomateriales en un medio líquido (Royal Society and Royal Academy of Engineering, 2004; Shakesheff, 2005).

Y también se pueden sustituir los equipos, como por ejemplo la maquinaria, de forma que se utilice la adecuada, para manipular polvos peligrosos y evitar explosiones o incendios (Royal Society and Royal Academy of Engineering, 2004; Shakesheff, 2005).

2.5.3 MEDIDAS DE CONTROL TÉCNICAS

AISLAMIENTO O ENCERRAMIENTO DEL PROCESO

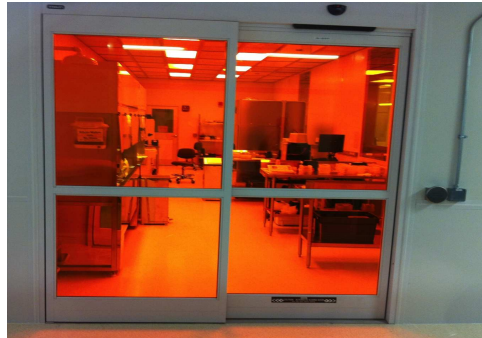
Todas las operaciones en las que se liberen de manera intencionada nanomateriales al ambiente deberían realizarse en instalaciones con circuito cerrado (Figura 19) o si ello no es posible, en locales cerrados y equipados con sistemas de ventilación que eviten el paso de la contaminación a otras áreas (Figura 20). También es posible en instalaciones en las que los trabajadores estén aislados para evitar su exposición a nanomateriales, como los glove-box (Figura 21) y glove-bag (Figura 22) (Rosell & Pujol, 2008; Tanarro & Gálvez, 2009). Por otro lado, trabajar en atmósferas controlada se está evitando a su vez el riesgo de fuego y explosión (Ostiguy *et al.*, 2006; Royal Society and Royal Academy of Engineering, 2004).

Figura 19: Horno cerrado en el que se elaboran nanotubos de carbono



Fuente: Imagen por cortesía de NIOSH y Nanocomp Technologies Inc utilizada en (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010)

Figura 20: Laboratorio de investigación cerrado herméticamente, bajo presión negativa, evitando paso de nanomateriales a otras zonas.



Fuente: foto por cortesía de Oak Ridge's Nanophase Materials Research citado por (Gibbs, Lamba, Stoxkmeier, & Kojola, 2012)

Además, en los laboratorios la presión debe mantenerse negativa (Gibbs *et al.*, 2012), aunque se han identificado también el uso de habitaciones con presión positiva.

Figura 21: Glove-box.



Fuente: foto cortesía de BRAUN, utilizada por (Gibbs *et al.*, 2012)

Figura 22: Glove-bag



Fuente: (Gibbs *et al.*, 2012)

Rosell & Pujol (2008) enumera algunos ejemplos de situaciones que generan los nanoaerosoles y que precisan de este tipo de medidas de control:

- Trabajos con nanomateriales en fase líquida durante las operaciones de trasvase, mezclas ó aquellas en que tiene lugar agitación elevada.

- Generación de partículas mediante corriente de gas.
- Manejo de polvos con nanoestructura.
- Mantenimiento de equipos y procesos de fabricación de nanomateriales.
- Limpieza de los sistemas de extracción utilizados en la captura de nanopartículas.

VENTILACIÓN

Hay dos formas principalmente de ventilar: por dilución y localizada.

- Ventilación por dilución

La ventilación general por dilución, puede controlar el nivel de contaminación ambiental de nanopartículas (Rosell & Pujol, 2008). Este sistema se trata de diluir la contaminación mediante la incorporación de aire limpio, por ejemplo a través de suministradores de aire (Figura 23). Sin embargo Gibbs *et al.* (2002) indican que no puede ser en ningún caso una medida única de control de la exposición (Gibbs *et al.*, 2012).

Figura 23: Suministrador de aire estándar en oficina.



Fuente: (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010)

- Extracción localizada

Cuando no se pueda trabajar en circuito cerrado la captación de estos contaminantes será mediante extracción localizada. Las especificaciones y la calidad de estos sistemas de extracción son similares a aquellos que se utilicen para gases, vapores y aerosoles: sistema de extracción con un filtro de partículas de alta eficacia HEPA (High Efficiency Particulate Air). Estos filtros HEPA presentan una eficacia superior al 99,97% para partículas de un tamaño medio de 0,3 μm , pudiendo, aunque su eficacia decrece para partículas inferiores a 2nm (Rosell & Pujol, 2008).

Hay 2 tipos de extracción localizada: las vitrinas que incluyen encerramiento y por tanto el trabajo se desarrolla en su interior y las que no lo incluyen, con lo que el área de trabajo se sitúa en frente del extractor (Figura 24). En general las que incluyen encerramiento son preferibles frente a las que no (ACGIH, 2007).

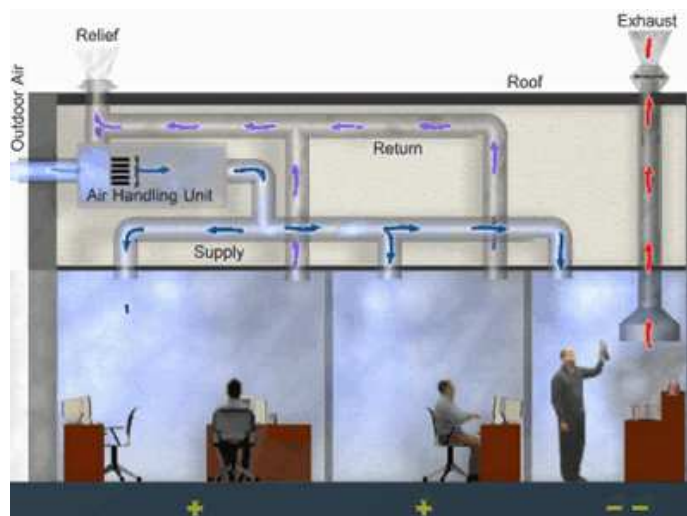
Figura 24: Vitrinas de laboratorio: convencional (a) y vitrina con extracción frontal (b).



Fuente: (Gibbs *et al.*, 2012)

Respecto de la recirculación del aire y filtración, el aire de escape debe pasar a través de un filtro HEPA y, cuando sea factible, sacarlo fuera de las instalaciones (Figura 25), ya que es preferible la descarga al exterior del aire que la recirculación del mismo. Si se recircula el aire, se deben tomar medidas para asegurar que el aire recirculado no contengan nanopartículas (Gibbs *et al.*, 2012).

Figura 25: Sistemas de ventilación



Fuente: (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010)

Respecto a los sistemas de aire acondicionado, calefacción y ventilación, es necesario que sean independientes los sistemas de la zona de trabajo contaminada con respecto al resto de zonas (Gibbs *et al.*, 2012).

2.5.4 MEDIDAS ORGANIZATIVAS: BUENAS PRÁCTICAS DE TRABAJO

GENERALES

Rosell & Pujol (2008) indican las siguientes prácticas seguras de trabajo para ayudar a minimizar la exposición a nanomateriales:

- No guardar o consumir comida y bebidas en el puesto de trabajo.
- Prohibir la aplicación de cosméticos en lugares donde se manipulen, usen o almacenen nanomateriales.

- Lavarse las manos antes de comer o al dejar el puesto de trabajo.
- Quitarse la ropa de protección o batas para acceder a otras áreas de trabajo como administración, cafetería, sala de relax, etc.
- Ducharse y el cambiarse de ropa para prevenir la contaminación de otras áreas de forma inadvertida debida al transporte de los nanomateriales a través de la ropa y de la piel
- El personal deberá evitar tocarse la cara u otras partes del cuerpo expuestas con los dedos contaminados.
- Limpiar el área de trabajo como mínimo al final de la jornada laboral utilizando sistemas de aspiración dotados de filtros HEPA y sistemas de barrido húmedos.

Además Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (2008) añade las siguientes actuaciones:

- La ropa y demás EPIS utilizados deben guardarse en una bolsa de plástico cerrada antes de sacarlas del área de trabajo para limpiarlas o eliminarlas en un sitio apto.
- Se debe prestar atención a posibles desgastes en las medidas de protección individual.

Debido a que, entre otras, el pasar de una persona cerca de una campana extractora crea turbulencias como para poner contaminantes fuera de la campana, se seguirá la siguiente recomendación (Johnson & Fletcher, 1996): el tráfico de personas será el mínimo cuando se manipulan nanomateriales, así como se evitará realizar movimientos bruscos.

GESTIÓN DE RESIDUOS

A pesar de que actualmente no hay procesos estandarizados para la gestión de residuos a nivel de laboratorio, existen algunas guías o protocolos para este fin (Organisation for Economic and Co-operation and Development (OECD), 2010). Pero básicamente con el nivel actual de conocimientos, la mejor práctica es gestionarlos como material de laboratorio contaminado con nanomateriales y tratarlos como residuo peligroso hasta que se desarrolle una regulación específica y etiquetarlos como residuo a nanoescala (NEPHH'S CONSORTIUM, 2012).

CONTROL DE DERRAME

Como señalan (Rosell & Pujol, 2008) el control de derrames debe basarse en las siguientes buenas prácticas de trabajo:

- Utilizar un aspirador equipado con filtro HEPA.
- Humedecer el polvo.
- Emplear bayetas humedecidas.
- Utilizar adsorbentes si el derrame es de un líquido.
- Gestionar el material generado en la recogida del derrame como un residuo.
- En caso necesario, se utilizará los correspondiente EPIs (realizar evaluación).

INCENDIO Y EXPLOSIÓN

Para evitar el riesgo de incendio y explosión se realizarán las siguientes medidas:

- Envolver los nanomateriales en una capa protectora constituida por sales o diferentes polímeros que puedan eliminarse rápidamente antes la utilización del producto (Rosell & Pujol, 2008).
- La temperatura de funcionamiento de los equipos eléctricos y el aumento del riesgo de autoignición de las nanopartículas debe ser tenido en cuenta (Ostiguy *et al.*, 2006).

2.5.5 PROTECCIÓN INDIVIDUAL

PROTECCIONES PARA EL CUERPO

Se utilizarán guantes adecuados, tanto cuando se manejen nanopartículas en cualquier estado. Para cuando se prevea un contacto prolongado deberán utilizarse dobles guantes, pero siempre teniendo en cuenta los datos (resistencia química, espesor, modelo, etc.) que proporcione el fabricante (Rosell & Pujol, 2008). La elección del guante tiene que ser adecuada conforme al nanomaterial y si están en suspensión en un líquido, los guantes también deberán ser resistentes a éste.

Se recomienda los guantes de nitrilo principalmente, como el de la Figura 26, aunque también se utilizan de neopreno, cloruro de polivinilo (PVC) o látex (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010).

Figura 26: Guantes de nitrilo



Fuente: (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010)

También (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010) recomienda llevar zapatos cerrados hechos de un material impermeable o cubrezapatillas desechables, y siempre cubierto el cuerpo: camisa de manga larga, pantalones largos o un mono o uniforme de trabajo impermeable (no de algodón). El protector para el cuerpo que más se utiliza es el de la Figura 27, llamado *tipo Tyvek* (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010).

Figura 27: Mono tipo Typek.



Fuente: (Safety Controls S.L, 2013)

Es importante utilizar adecuadamente las protecciones, en la Figura 28 se observa un ejemplo sobre como los puños y los guantes no deben permitir el contacto de nanomateriales con la piel.

Figura 28: Forma incorrecta de colocación de guantes y puños del mono (a) y forma correcta (b).



Fuente: (Gibbs *et al.*, 2012)

PROTECCIONES OCULARES/FACIALES

También son necesarias protecciones oculares y faciales. El modelo de la gafa será según se determine en la evaluación de riesgos (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2008).

Podemos distinguir los siguientes tipos de protecciones: gafas de montura universal, gafas de montura integral y las pantallas faciales.

PROTECCIONES VÍAS RESPIRATORIAS

Si se aplican adecuadamente las medidas técnicas expuestas, es poco probable que sean necesarias protecciones respiratorias. En todo caso, su utilización debe basarse en la evaluación de riesgos. Las estrategias para reducir la exposición dérmica reducen también la exposición por ingestión, ya que esta se puede dar como consecuencia del contacto entre mano y boca (Rosell & Pujol, 2008).

Existen distintos tipos de protección, tal y como se aprecia en la Figura 29. En una primera clasificación, se distingue los que suministran aire limpio y los que lo filtran. Y con respecto a los protectores que filtran el aire, distinguimos los que generan presión negativa, por ejemplo: mascarilla desechable tipo FFP3, o los que la generan positiva, como las máscaras respiratorias totales tipo *full-face* (las más seguras) o parcial tipo *half-face* (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010).

Figura 29: Equipo suministrador de aire (a), mascarilla desechable con filtro FFP3 (b), respirador con máscara facial completa filtrante (c) y respirador con máscara facial parcial filtrante (d).



Fuente: Foto (a) por cortesía de Draeger Safety tomada de (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010) . Fotos (b)-(d) por cortesía de Kirkwood (Community College) tomada de (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010)

2.6 INSTALACIONES Y LUGAR DE TRABAJO

Como señala Rosell & Pujol (2008) con respecto a las instalaciones es necesario:

- Seleccionar cuidadosamente los equipos contra incendios.
- Las instalaciones eléctricas deberán ser antiexplosivas y los equipos eléctricos deberán ser protegidos frente al polvo e incluso, que sean estancos a vapores
- Instalaciones seguras, teniendo en cuenta la reglamentación vigente.

Debe de haber vestuarios dobles contiguos a la zona de actividad, para no mezclar la ropa de trabajo con la de calle y evitar así las contaminación al exterior del ambiente de trabajo (Ricaud & Witschger, 2012).

La zona de trabajo debe estar claramente señalizada (Figura 30), y aunque no existe un pictograma armonizado en Europa para advertir del peligro por exposición a nanomateriales, en Francia el *Institut national de la recherche scientifique* (INRS) propone utilizar el pictogramas de la Ilustración 31 (Ricaud & Witschger, 2012).

Figura 30: Zona señalizada de trabajo.



Fuente: Fotos por cortesía de Jitendra S. Tate, profesor de la Universidad de San Marcos, Estado de Texas; tomada de (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010)

Figura 31: Ejemplo de pictograma "Riesgo de exposición a nanopartículas"



Fuente: (Ricaud & Witschger, 2012)

También es adecuado utilizar esterillas antideslizantes (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010), como las de la Figura 32.

Figura 32: Esterilla antideslizante



Fuente: Fotos por cortesía de Jitendra S. Tate, profesor de la Universidad de San Marcos, Estado de Texas; tomada de (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2010)

2.7 FORMACIÓN E INFORMACIÓN

Aplicando lo que indica la Ley 31/1995 y adaptándolo a los trabajos desarrollados en el campo de la nanotecnología, el empresario adoptará las medidas adecuadas para que los trabajadores reciban la información necesaria (Ministro de Trabajo y Seguridad Social, 1995):

- Los riesgos para la seguridad y la salud por estar expuestos a nanomateriales.
- Las medidas y actividades de prevención y protección colectiva e individual.

- Los protocolos de actuación en caso de emergencia relacionados con los nanomateriales.
- La información sobre la maquinaria, equipos, productos y útiles de trabajo. En particular para las sustancias químicas se debe conocer las que riesgos y medidas preventivas de las sustancias que se manipulen, su utilización y almacenamiento.
- Los resultados de la evaluación de riesgos a los trabajadores afectados, por la exposición a nanopartículas, para que estén debidamente informados sobre los riesgos existentes y las medidas que deben adoptar para evitarlos.

Además, el empresario debe garantizar que cada trabajador reciba una formación teórica y práctica, suficiente y adecuada en materia preventiva en los siguientes casos:

- En el momento de ser contratado en la organización.
- Cuando se produzcan cambios en las funciones que desempeñen.
- Así como cuando se introduzcan nuevas tecnologías o cambios en el equipo de trabajo, en este caso la incorporación de la nanotecnología al entorno laboral.

2.8 CONSULTA Y PARTICIPACIÓN DE LOS TRABAJADORES

El empresario deberá consultar a los trabajadores con la debida antelación respecto a las decisiones relativas a (Ministro de Trabajo y Seguridad Social, 1995):

- La planificación y organización del trabajo en la empresa y la introducción de nuevas tecnologías (nanotecnologías) y en todo lo relacionado con las consecuencias que estas pudieran tener para la seguridad y salud de los trabajadores.
- Así como consultar sobre las acciones que puedan tener efectos sustanciales sobre la seguridad y salud de los trabajadores.
- Acerca del procedimiento de evaluación a utilizar en la empresa o centro de trabajo.

2.9 VIGILANCIA SALUD

El empresario debe garantizar a los trabajadores el servicio de la vigilancia periódica de su salud en función de los riesgos inherentes al trabajo. Esta vigilancia sólo podrá llevarse a cabo si el trabajador presta su consentimiento. De este carácter voluntario sólo se exceptuarán, previo informe de los representantes de los trabajadores, los supuestos en los que la realización de los reconocimientos sea imprescindible para evaluar los efectos de las condiciones de trabajo sobre la salud de los trabajadores o para verificar si el estado de salud del trabajador puede constituir un peligro para el mismo, para los demás trabajadores o para otras personas relacionadas con la empresa o cuando así esté establecido en una disposición legal en relación con la protección de riesgos específicos y actividades de especial peligrosidad (Ministro de Trabajo y Seguridad Social, 1995).

En España de momento no hay desarrollado protocolos de vigilancia de la salud para trabajadores expuestos a nanopartículas (Secretaría de Política Sindical de UGT de Catalunya - Salut laboral, 2011), pero se tiene constancia de que el CSIC en Madrid sí desarrolla y aplica de protocolos médicos específicos de vigilancia de la Salud (Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), 2013).

Con la información existente, aunque todavía existan lagunas sobre los riesgos sobre la salud, es suficiente como para realizar protocolos de vigilancia de la salud a los trabajadores (P. Schulte *et al.*, 2008).

Es recomendable que cuando para el material padre de las nanopartículas en cuestión exista un protocolo específico de vigilancia de la salud, se siga el mismo, pero teniendo presente que a escala nanométrica cambian las propiedades físico y químicas, por lo que se deberá de tener en cuenta a la hora de interpretar los resultados de los chequeos (Secretaría de Política Sindical de UGT de Catalunya - Salut laboral, 2011),.

Ante este marco de incertidumbre, aparecen propuestas e iniciativas para orientar los protocolos de vigilancia de la salud para los trabajadores expuestos a nanopartículas, por ejemplo National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (2009) propone los siguientes elementos para la composición de un programa de vigilancia:

- Examen médico inicial y confección de historia laboral.
- Exámenes médicos periódicos con intervalos regulares, incluyendo monitoreo biológico específico.
- Exámenes de salud más frecuentes y detallados de acuerdo a hallazgos encontrados en estos.
- Exámenes médicos posteriores a incidentes o derrames.
- Capacitación de los trabajadores en reconocimiento de síntomas luego de exposiciones a materiales.
- Reporte médico de hallazgos clínicos.
- Acciones del empleador con el fin de identificar potenciales amenazas en el puesto de trabajo.

Baker & Matte (2005) señala también los siguientes aspectos esenciales a tener en cuenta en el programa de vigilancia para la salud:

- Evaluación de riesgos del lugar de trabajo.
- Identificación de los órganos diana de toxicidad para cada peligro.
- Selección de pruebas para cada uno de efectos en la salud monitorizables.
- Desarrollo de criterios de actuación.
- Normalización de la recopilación de datos del proceso.
- Realización de pruebas.
- Interpretación de los resultados de las pruebas.
- Prueba de confirmación.
- Determinación de la situación laboral.
- Notificación.
- Evaluación diagnóstica.
- Evaluación y control de la exposición.
- Registros.

Por último indicar que a nivel europeo, Reino Unido y Alemania son quienes más han aportado sobre medicina del trabajo en el ámbito de prevención de riesgos laborales en el campo de la nanotecnología (European Commission, 2007; Nasterlack *et al.*, 2008; Nemmar *et al.*, 2002). Pero es Estados Unidos quien destaca mundialmente seguida de Canadá

(Institut de reserche Robert-Sauvé en Sané et en Sécurité du travail IRRS Montreal, 2009;
National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 2009).

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los capítulos 1. INTRODUCCIÓN y 2. PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES queda de manera palmaria la necesidad de asegurar la protección de los trabajadores ante el riesgo emergente de la exposición a nanomateriales. Cada vez son más los trabajadores expuestos a ellos mientras que la información existente sobre sus riesgos potenciales es muy limitada. Además, esta situación se presenta en un momento en que aún no hay legislación específica que proteja de los problemas que de su uso se derivan, lo que genera un marco de incertidumbre.

Cabe por tanto plantearse las siguientes preguntas: ¿son conscientes los trabajadores de los riesgos asociados a los nanomateriales?, ¿están protegidos de la exposición a nanomateriales?, y si es así, ¿de qué manera lo están? Éstas y otras cuestiones relacionadas ya han sido investigadas, tal y como se explica en el apartado 4.1 ANTECEDENTES EN EL ESTUDIO SOBRE EL CONOCIMIENTO EN MATERIA PREVENTIVA Y LAS PRÁCTICAS DE TRABAJO SEGURAS. Sin embargo, no hay constancia de que en España se hayan realizado investigaciones en este ámbito; por tanto, existe un conocimiento muy limitado sobre las prácticas en materia preventiva relacionadas con los nanomateriales.

En esta Memoria, que se presenta como Trabajo Fin de Máster, se plantea como problema de investigación: *conocer las prácticas en materia preventiva llevadas por los trabajadores en el campo de la nanotecnología en España.*

3.1 JUSTIFICACIÓN

El interés de esta investigación radica en que la resolución del problema antes planteado, podría incorporarse como refuerzo en la toma de decisiones que pretenden superar el reto que afrontan los profesionales de la Seguridad y Salud en el Trabajo, y la población en general, a la hora de proteger a los trabajadores.

Se trata de un buen momento para dar solución al problema que se plantea porque es un tema actual y de gran popularidad. Además, el tema abarca la perspectiva de la Prevención de Riesgos Laborales en la nanotecnología, una temática no demasiada estudiada desde la investigación científica.

Sin embargo, para poder dar solución al problema de la investigación definido anteriormente, se requiere de un camino extenso a seguir, no pudiéndose resolver satisfactoriamente en el tiempo previsto para la realización del Trabajo Fin de Máster que permite optar al Título del Máster Universitario en Gestión y Seguridad Integral en la Edificación.

Por tanto, se opta por fraccionar la línea completa de la investigación en dos ciclos, siendo el desarrollo del primero, el objeto del presente Trabajo Fin de Máster, proponiéndose por tanto, como futuro cometido la realización del segundo ciclo de la investigación, ver capítulo 7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN. Además este Trabajo Fin de Máster se

complementa y se ve reforzado con otro anterior, el cual realizó una revisión del estado del conocimiento de las aplicaciones de la nanotecnología y su impacto en la salud, en sintonía con el presente trabajo (G. López, 2012).

3.2 OBJETIVOS

El problema de investigación planteado anteriormente se replantea en términos de objetivos con objeto de poder comprobar si con esta investigación han sido alcanzado y, por ende, resuelto el problema de investigación al que obedecen.

Se plantea un **objetivo general** que consiste en explorar las prácticas actuales en materia preventiva de los trabajadores que están expuestos a nanopartículas en su trabajo diseñando y, posteriormente, validando un cuestionario que permita obtener la información necesaria para, tras haberla analizado usando métodos cualitativos, obtener conclusiones.

Una técnica de investigación eficaz consiste en dividir el problema general en subproblemas. Por tanto, descompondremos el objetivo general en los siguientes ocho **objetivos específicos**:

- Objetivo 1
Descubrir los nanomateriales que se utilizan, características y aplicaciones.
- Objetivo 2
Evidenciar la relación existente entre salud y la exposición a nanomateriales en el trabajo.
- Objetivo 3
Descubrir la información y formación divulgada para trabajar con nanomateriales.
- Objetivo 4
Averiguar la participación en materia preventiva relacionada con los nanomateriales.
- Objetivo 5
Identificar las medidas de control de la exposición a nanomateriales
- Objetivo 6
Comprobar la consideración del riesgo por exposición a nanomateriales en el trabajo en las Evaluaciones de Riesgos Laborales.
- Objetivo 7
Verificar la realización mediciones higiénicas de nanomateriales.
- Objetivo 8
Constatar la investigación de accidentes relacionados con nanomateriales.

3.3 HIPÓTESIS DE ESTUDIO

Con los resultados que pudieran obtenerse, en el segundo ciclo de esta línea de investigación, se comprobará si con ellos se ha resuelto el problema general de la investigación planteado anteriormente. Para ello es necesario contrastar las siguientes hipótesis apriorísticas sobre los objetivos específicos:

- Para el Objetivo 1, se establecen las hipótesis A y B:
 - A. Los nanomateriales manufacturados más representativos son los propuestos por la OECD.
 - B. El sector donde la nanotecnología tiene más impulso es la cosmética

- Para el Objetivo 2, se establecen las hipótesis C, D, E y F:
 - C. La exposición a nanomateriales se percibe como peligrosa para la salud.
 - D. Se realizan protocolos médicos específicos en caso de exposición a nanopartículas en el trabajo.
 - E. La exposición a nanomateriales provoca síntomas dañinos en la salud.
 - F. El nivel académico influye en la percepción de los riesgos para la salud de los nanomateriales.

- Para el Objetivo 3, se establecen las hipótesis G, H y I:
 - G. Se divulga información y/o formación específica sobre prevención de riesgos laborales para trabajar con nanomateriales.
 - H. Se divulga información y/o formación específica con periodicidad sobre prevención de riesgos laborales para trabajar con nanomateriales.
 - I. El tamaño de la organización a la que pertenece el trabajador influye en la información y formación recibida de los trabajadores.

- Para el Objetivo 4, se establece la hipótesis J:
 - J. Los trabajadores son consultados en materia preventiva en relación con los nanomateriales.

- Para el Objetivo 5, se establecen las hipótesis K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, y U:
 - K. Existen medidas de control técnicas colectivas para controlar la exposición a nanomateriales.
 - L. Se realizan buenas prácticas en general en el trabajo.
 - M. Se generan residuos que contienen nanomateriales.
 - N. Se tratan los residuos que contienen nanomateriales de forma especial.
 - O. Existen protocolos a seguir en caso de derrame.
 - P. Existen medidas a tomar para evitar el riesgo de incendio y explosión
 - Q. Se utilizan medidas de protección individual para trabajar con exposición a nanomateriales.
 - R. Las medidas de control técnicas son adecuadas para los nanomateriales a los que se está expuesto.
 - S. Las medidas de protección individual son adecuadas para trabajar con exposición a nanomateriales.
 - T. El tamaño de la organización a la que pertenece el trabajador influye en las medidas preventivas y de protección que se adoptan.
 - U. El número de nanomateriales a los que se está expuesto influye en las medidas preventivas y de protección que se adoptan.

- Para el Objetivo 6, se establece la hipótesis W:
 - W. En las evaluaciones de riesgos laborales se tiene en cuenta los riesgos que generan por trabajar con nanomateriales.

- Para el Objetivo 7, se establece la hipótesis Z:
Z. Se realizan mediciones higiénicas de nanopartículas en el lugar de trabajo
- Para el Objetivo 8, se establece las hipótesis AA y BB:
AA. Existen accidentes relacionados con los nanomateriales.
BB. Se investigan los accidentes relacionados con los nanomateriales.

3.4 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para alcanzar los objetivos de la presente investigación es necesario seguir una metodología de investigación. La elegida para este trabajo consta de cinco fases que se explican a continuación y se esquematizan en la Gráfica 5.

I FASE (CAPÍTULOS 1 y 2)

En la primera fase se realizó la exigida revisión bibliográfica, expuesta en los capítulos anteriores 1 y 2, de la cual se destacan dos etapas: la primera, donde se revisa el estado del conocimiento desde una perspectiva teórica de los nanomateriales, en general, que corresponde con el capítulo 1. INTRODUCCIÓN y, la segunda, en la cual se revisa el estado del conocimiento con respecto a la Prevención de Riesgos Laborales en el campo de la nanotecnología, que corresponde con el capítulo 2. PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES.

El proceso de búsqueda de información se ha restringido principalmente a literatura científica actualizada y acreditada y para ello se ha consultado los recursos facilitados por la Biblioteca de la Universidad de Granada.

II FASE (CAPÍTULO 3)

Una vez contextualizado el tema de la investigación, y a la vista de la problemática existente se enuncia el problema de la investigación y su justificación así como los objetivos, hipótesis y la metodología que se deberá desarrollar en la investigación. Esta fase corresponde propiamente con el capítulo actual 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

III FASE (CAPÍTULO 4)

En esta fase se plantea una revisión específica de las investigaciones llevadas a cabo con anterioridad en la misma temática de la presente investigación, es decir con objetivos similares a los de la presente investigación. Esta fase se desarrolla en el capítulo 4. ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN.

Al igual en la Fase I, el proceso de búsqueda de información se ha restringido principalmente a literatura científica actualizada y acreditada y se han consultado las bases de datos Web of Knowledge y Scopus, cuyo acceso se realiza a través de la Biblioteca de la Universidad de Granada.

IV FASE (CAPÍTULO 5)

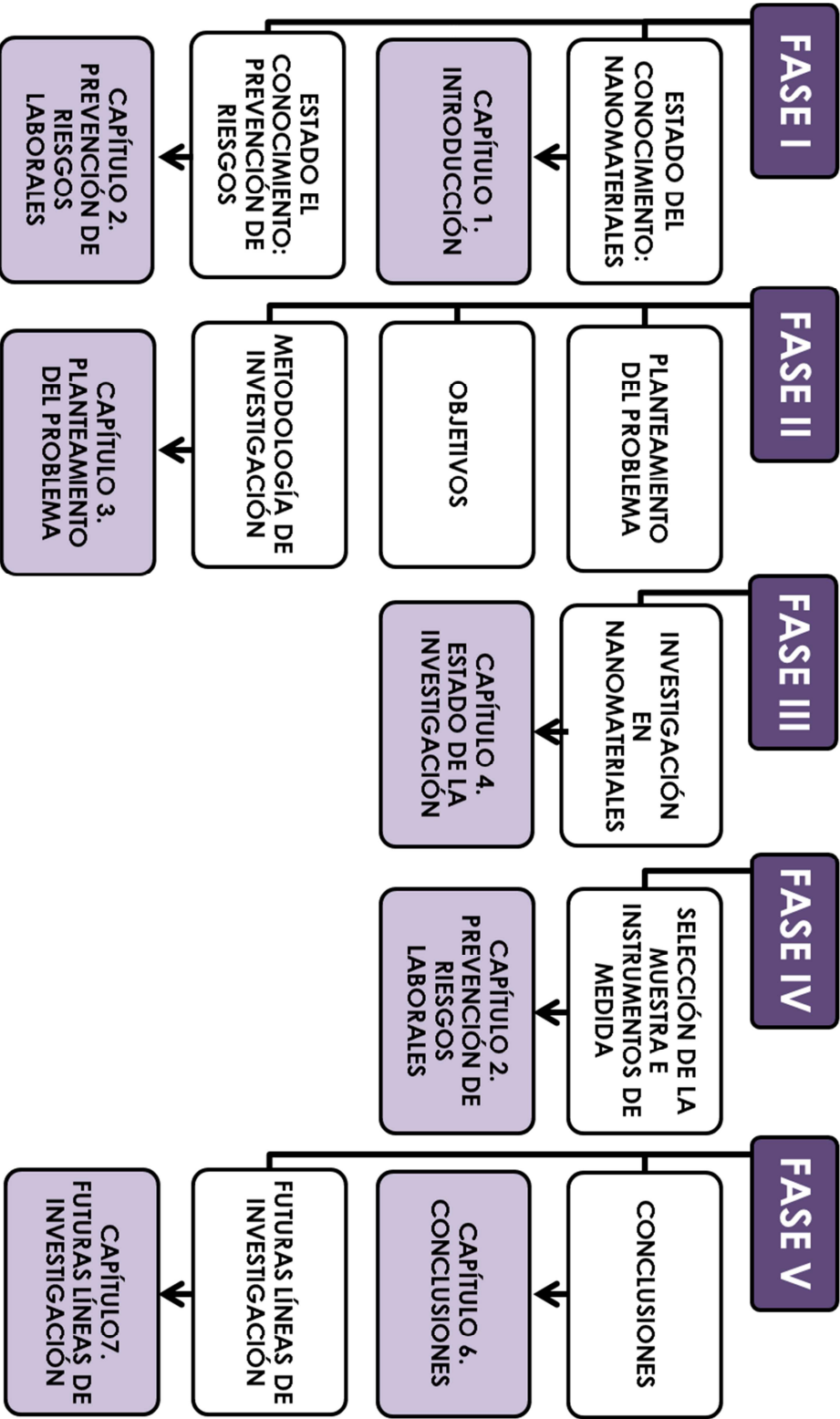
En esta fase se establece una metodología específica para la parte empírica de la investigación la cual se desarrolla en el capítulo 5. APLICACIÓN EMPÍRICA. De esta fase distinguimos el desarrollo de dos técnicas, una cuantitativa (diseño del cuestionario) y otra cualitativa (panel de expertos).

También en esta fase se procede a la presentación de los trabajos iniciados en las etapas correspondientes al *pretest* (encuesta piloto) y al diseño inicial de la muestra, que complementan las técnicas desarrolladas (diseño de la encuesta y panel de expertos).

V FASE (CAPÍTULOS 6 y 7)

Por último en esta fase se presentan los resultados de la aplicación empírica realizada en la presente investigación, la cuales se indican en el capítulo 6. CONCLUSIONES. Además también en esta misma fase se incluye los aspectos que han ido apareciendo a lo largo de la investigación, que no formando parte de los objetivos del presente, se presentan como interesantes futuras líneas de investigación, éstas se enuncian en el capítulo 7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

Gráfica 5: Fases de la metodología de la línea de investigación, distinguiendo fases, capítulos y etapas.



Fuente: elaboración propia

4 ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 ANTECEDENTES EN EL ESTUDIO SOBRE EL CONOCIMIENTO EN MATERIA PREVENTIVA Y LAS PRÁCTICAS DE TRABAJO SEGURAS

Broekhuizen & Broekhuizen (2009), encomendados por la FIEC (European Construction Industry Federation) y la EFBWW (European Federation of Building and Woodworkers), realizaron una encuesta entre sus miembros de 24 países europeos, para conocer en una primera aproximación, la conciencia general de los empresarios y trabajadores de las aplicaciones de los nano-productos en la construcción, obteniendo un total de 28 respuestas. De forma paralela también se realizaron 214 entrevistas a diferentes agentes involucrados en el sector como fabricantes, científicos trabajando en investigación y desarrollo de materiales, arquitectos, empresarios y trabajadores. Los principales resultados pusieron de manifiesto que:

- Hay una conciencia en general muy limitada respecto de las aplicaciones de la nanotecnología y nano-productos.
- En la mayoría de casos, señalaron deficiencias en la cadena de suministro de información sobre los productos que contienen nanomateriales.
- Los trabajadores encuestados indicaron que no se les requería habilidades o conocimientos específicos y tampoco medidas de protección específicas, a excepción de algunas aplicaciones relacionadas con el humo de sílice (nano-SiO₂).
- Los nanopartículas que más se utilizan son las de:
 - Dióxido de silicio.
 - Dióxido de titanio.
 - Óxido de aluminio.
 - Óxido de zinc.
 - Plata.

Schmid & Riediker (2008) estudiaron el uso de las nanopartículas en la industria suiza, para ello realizaron una encuesta telefónica a los representantes en materia preventiva de 197 empresas suizas, de las cuáles 43 declararon utilizar o producir nanopartículas y de estas 11 importaban y comercializaban nanoproduitos. Las principales conclusiones son:

- Los nanopartículas que más se utilizan son las de:
 - Dióxido de silicio.
 - Dióxido de titanio. Con la misma frecuencia que se señaló que el dióxido de titanio era utilizado, se señaló por parte de los encuestados que no sabían identificar el nanomaterial que utilizaban.
 - Plata, polímeros y carbono.
- La mayoría de las nanopartículas se fabrican en pequeña escala (menos de 100kg/año). Sólo a mayor escala (unas pocas toneladas por año) se fabrican las nanopartículas de plata, óxido de aluminio, óxido de hierro, dióxido de silicio, dióxido de titanio, zinc y negro de carbón.

- La alta dirección de pequeñas y grandes empresas tienen mayor involucración con los temas de prevención de riesgos laborales en relación con las nanopartículas que las medianas. Aunque es notable que muchas empresas no se supiera quién se encargaba de la gestión preventiva.
- La mayoría de las medidas de protección utilizadas parecen estar adaptadas al riesgo percibido en función del tipo de aplicación. Por ejemplo para las aplicaciones líquidas o sólidas, no se utilizaban medidas de protección para las vías aéreas.
- A continuación se relaciona en función del tipos de estado de las nanopartículas las medidas de protección observadas:
 - En la mayoría de las empresas que trabajan con nano-líquidos sólo se utilizaban equipos de protección individual como máscaras, guantes o gafas.
 - Todas las empresas que usan nanopolvos, emplean medidas de protección. De ellas en la mayoría se utilizan varias medidas a la vez como EPIs, campanas de extracción y sistemas de filtrado de aire y aislamiento del proceso.
 - Las empresas que utilizan nanopartículas embebidas en sólidos apenas toman medidas de protección, sólo 2 empresas manifestaron usar EPIs y aislar el proceso.

Con el objetivo de conocer las prácticas actuales en seguridad, salud, medio ambiente y administración de productos en la industria global de la nanotecnología. Gerritzen *et al.* (2006) realizaron una encuesta telefónica a 64 participantes del Norte América, Europa, Asia (principalmente Japón) y Australia. Los encuestados pertenecían mayormente (51,8%) al sector empresarial de tamaño medio (menos de 50 empleados), pero también a laboratorios de investigación y laboratorios universitarios. Los principales resultados son:

- Los equipos de protección individual reutilizables se usan más en pequeñas organizaciones.
- Las organizaciones que utilizan nano-polvos recomiendan a sus trabajadores el uso de máscaras antipolvo y en algunas incluso respiradores.
- Son más comunes los programas de formación e información para los trabajadores en las organizaciones con más empleados (más de 1000) o que llevan más tiempo funcionando.
- Las empresas que utilizan un mayor número de nanomateriales en distintos estados emplean mayores medidas de control técnicas.
- En general las organizaciones que trabajan con nanomateriales utilizan las medidas de seguridad convencionales para protegerse de los agentes químicos, sólo unas pocas aplican medidas adicionales o especiales para trabajar con nanomateriales.
- El constituyente elemental de los nanomateriales más utilizados es el carbono.
- Los temas sobre los que versa la formación e información es principalmente de manipulación segura y procedimientos operativos, seguida de los equipos de protección individual, la toxicidad y los riesgos, los controles técnicos y mantenimiento de equipos.
- La mayoría de los que indicaron tratar con residuos, los trataban los residuos con nanomateriales junto con otros de la empresa. Y en muy pequeña proporción se

trataban antes de eliminarlos, se almacenaban, se reciclaban, se incineraban o se enviaban a sus proveedores.

- La mayoría de los encuestados indicaron que no se realiza monitoreo ambiental del lugar de trabajo.
- Las medidas técnicas identificadas por principalmente: campanas extractoras, glove-box y sistemas independientes de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Pero también fueron se identificó el uso de cabinas de seguridad biológica, habitaciones de presión negativa, glove-bag y habitaciones de presión positiva.
- Las medidas de protección individuales más empleadas eran la bata de laboratorio, el mono completo de protección, los zapatos para el laboratorio, el mono completo de protección desechable, la bata de laboratorio desechable, los manguitos y los protectores de zapatos.

Hay poca información disponible actual de cómo se manipulan, se tratan los residuos con nanomateriales (J. Moore, 2007). Balas, Arruebo, Urrutia, & Santamaria (2010) llevaron a cabo una encuesta sobre prácticas en laboratorios a 218 investigadores que utilizaran nanomateriales, y se concluyó que el 81% de los investigadores señalaron que los nanomateriales deberían ser tratado como residuos peligrosos, sin embargo el 85% de ellos declaró que no seguían ningún procedimiento especial o que simplemente utilizaban el mismo procedimiento que para otros productos químicos. Además sólo un 9,3% tenían un servicio externo especializado para tratar estos residuos.

En el estudio de NEPHH'S CONSORTIUM (2012) la falta de información es la conclusión más significativa, sobre conocimiento de la eficiencia de los sistemas de gestión de residuos. A 12 empresas se les distribuyó una encuesta vía *email* y correo postal; llegando a la conclusión de que había grandes diferencias en seguridad y manipulación de los nanomateriales respecto de la escala a nivel de laboratorio e industrial. Sólo unos pocos afirmaron tener conciencia sobre los temas ambientales y de seguridad sobre los nanomateriales.

La industria alemana que trabaja con nanomateriales en Alemania fue analizada por Plitzko & Gierke (2007) quienes realizaron una encuesta a 217 empresas de, de las cuales el 21% afirmó estar involucrados con actividades relacionadas con nanomateriales y el 31% llevaba a cabo mediciones exploratorias.

En Francia se intentó llevar a cabo una encuesta para explorar la prevención de riesgos en empresas y laboratorios de investigación en Francia que trataban con nanomateriales, pero no condujo a buenos resultados porque hubo baja participación y además, empresas que se conocía que utilizaban nanomateriales dijeron que no los usaban (Boutou-Kempf, 2010).

Otra encuesta, también en Francia, si tuvo mejores resultados. (Jacquet, 2012) CI encuestó a 7 servicios de prevención, 18 médicos del trabajo y 2 representantes de personal. Con el objetivo de localizar a los trabajadores expuestos a nanomateriales y las situaciones que las generan, así como conocer las medidas de prevención en estas exposiciones. Las principales conclusiones que se obtuvieron fueron las siguientes:

- Se identificaron 167 trabajadores expuestos a nanomateriales, de los cuales 84 estaban expuestos sólo a una tipo de nanomaterial, 66 a dos, 1 a tres y 17 a 6 nanomateriales.
- Se identificaron 8 tipos de nanomateriales, de los cuales los más utilizados eran el dióxido de titanio (26%), el negro de carbón (21%) y el óxido de silicio (19%),
- El dióxido de titanio es ampliamente utilizado en el sector de las pinturas, las cremas solares. Y el negro de carbón en la industria del caucho.
- La forma de las nanomateriales que se idéntico en el 57% de las respuestas fue la esférica.
- El estado utilizado de los nanomateriales era en polvo (66%), en suspensión líquida (21%) y en sólido o aglomerado (12%).
- La duración media de las exposiciones era era de 60 minutos por jornada de trabajo, con los extremos de 1 minuto a 8 horas.
- El 37 % manifestó tener medidas de protección colectivas.
- La utilización de guantes es sistemático. Se utilizaban guantes de látex, nitrilo, vinilo, caucho.
- Sólo el 25% indicó que se utilizara ventilación localizada.
- Ausencia de información sobre FDS.
- Dificultad a la hora de identificar el nanomaterial y su tamaño.

J. Lindberg & Quinn (2007) investigaron sobre cómo se gestionaba la prevención de riesgos laborales y las necesidades de información en gestión y prácticas de prevención en las empresas del campo de la nanotecnología de la región de Massachusetts. El 33% eran micro el 8,5% pequeñas, 8,5% medianas y el 50% grandes. Para lograr este objetivo realiza 180 encuestas *online* y 2 entrevistas. Los principales resultados son los siguientes:

- El 80% de las empresas grandes son las que realizan pasos hacia una mejora de la gestión de la prevención, frente al 33% de las pequeñas y micro empresas.
- La barrera más señalada que impedía llevar a cabo la gestión preventiva con respecto a los nanomateriales era la falta de información.
- El 42% y el 83% de las micro y pequeñas empresas consideran que no es necesario un gestión preventiva asociada al uso de los nanomateriales.
- La mayoría de las empresas manifestaron no tener procedimientos para evaluar la exposición de los trabajadores.
- Se utilizaban medidas de control técnicas para reducir la exposición.
- Se usaban protecciones personales pero no específicas para trabajar con nanomateriales
- No habían recibido los encuestados información específica de prevención para trabajar con nanomateriales,
- No se habían desarrollado procedimientos para transporte, almacenaje o eliminación de nanomateriales.

Sobre la visión de la industria Conti *et al.* (2008) realizaron una encuesta en 2006 con una única pregunta acerca de si consideraban que si existía algún riesgo asociado con los nanomateriales que ellos manipulaban. El análisis se realizó a 82 personas, las cuáles indicaron de que no relacionaban sus prácticas de seguridad e higiene con riesgos especiales de los nanomateriales. Otra encuesta al sector industrial la realizó Hervé-Bazin (2007) a 92 empresas europeas y su principal conclusión fue que el 54% no tenía información sobre nanotecnología.

En el ámbito de la investigación con nanomateriales Balas *et al.* (2010) realizaron una encuesta a laboratorios y encontraron que eran conscientes de los riesgos, pero que de todas formas actuaban de manera insegura y desconocían guías preventivas publicadas acerca de protocolos de seguridad.

Por último, Engeman *et al.* (2012) realizaron una encuesta a 65 individuos de 14 países diferentes y las principales conclusiones fueron:

- Altos niveles de desconocimiento sobre los riesgos relacionados con los nanomateriales.
- La mayoría de las empresas indicaron que la falta de información es el principal impedimento para desarrollar prácticas en materia preventiva específicas para trabajar con nanomateriales.

4.2 INVESTIGACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA

4.2.1 LÍNEAS Y TENDENCIAS

La producción científica de calidad en la categoría de nanociencia y nanotecnología se puede consultar entre otros recursos en las revistas indexadas. En la Tabla 13, se listan las revistas más importantes según el índice de impacto del año 2012 pertenecientes al primer cuartil.

Tabla 13: Revistas científicas del primer cuartil

Ranking primer cuartil*	Revista	Índice de Impacto**
1	Nature Nanotechnology	31.170
2	Nano Today	17.689
3	ADVANCED MATERIALS	14.829
4	NANO LETTERS	13.025
5	ACS Nano	12.062
6	ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS	9.765
7	Nanotoxicology	7.844
8	Small	7.823
9	Nano Research	7.392
10	Nanomedicine-Nanotechnology Biology and Medicine	6.930
11	Journal of Physical Chemistry Letters	6.585
12	Nanoscale	6.233
13	LAB ON A CHIP	5.697
14	Wiley Interdisciplinary Reviews-Nanomedicine and Nanobiotechnology	5.681
15	BIOSENSORS & BIOELECTRONICS	5.437
16	Nanomedicine	5.260
17	Journal of Biomedical Nanotechnology	5.256
18	ACS Applied Materials & Interfaces	5.008

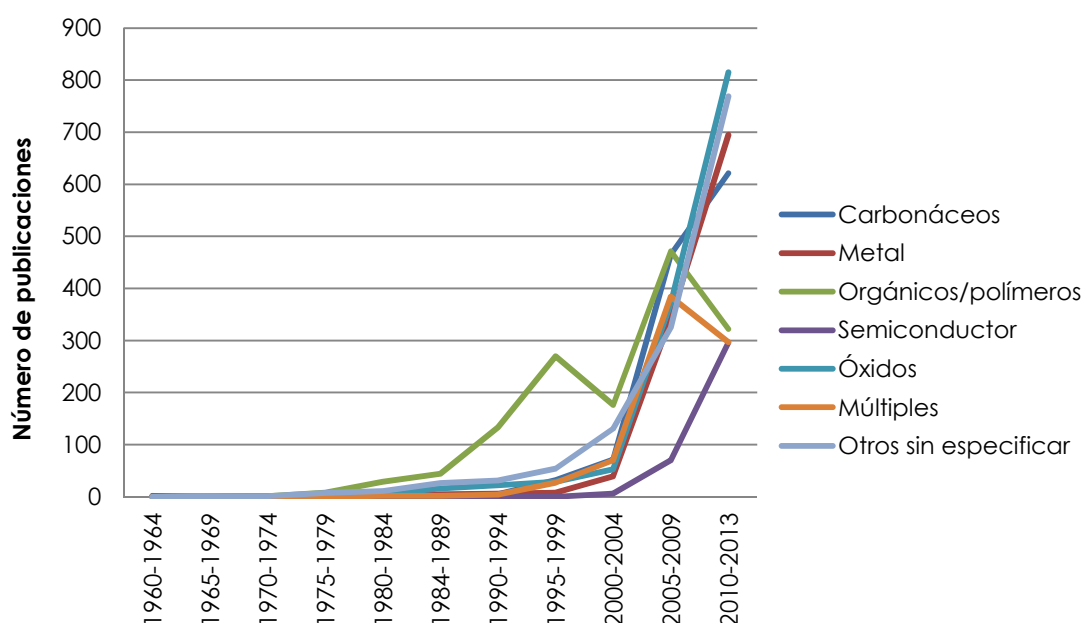
*De un total de 69 revistas indexadas en la categoría de nanociencia y nanotecnología, el primer cuartil agrupa hasta el puesto 18.

**Se obtiene del cociente de la suma de los artículos publicados en la revista durante el período de 2010 y 2011 han sido entre el número de citas del 2012

Fuente: consultado el 8/3/2013 con la herramienta Journal Citation Reports de Thomson Reuters.

La producción científica en nanotecnología y nanociencia en general, comenzó a aumentar de forma progresiva especialmente a partir de los años 90. Aunque no todas las nanopartículas han despertado el mismo interés por ser estudiadas. En la Gráfica 6, se aprecia cómo ha ido evolucionando el número de publicaciones para los distintos tipos de nanopartículas, las más analizadas son los orgánicos/polímeros con 1455 artículos en total publicados, le seguiría un grupo heterogéneo con 1355 artículos donde se no son precisa el tipo de nanomaterial, a continuación irían los óxidos con 1315 artículos, los carbonáceos con 1194, después los artículos que tratan múltiples nanopartículas con 786 artículos y por último los semiconductores son los menos estudiados con 372 artículos.

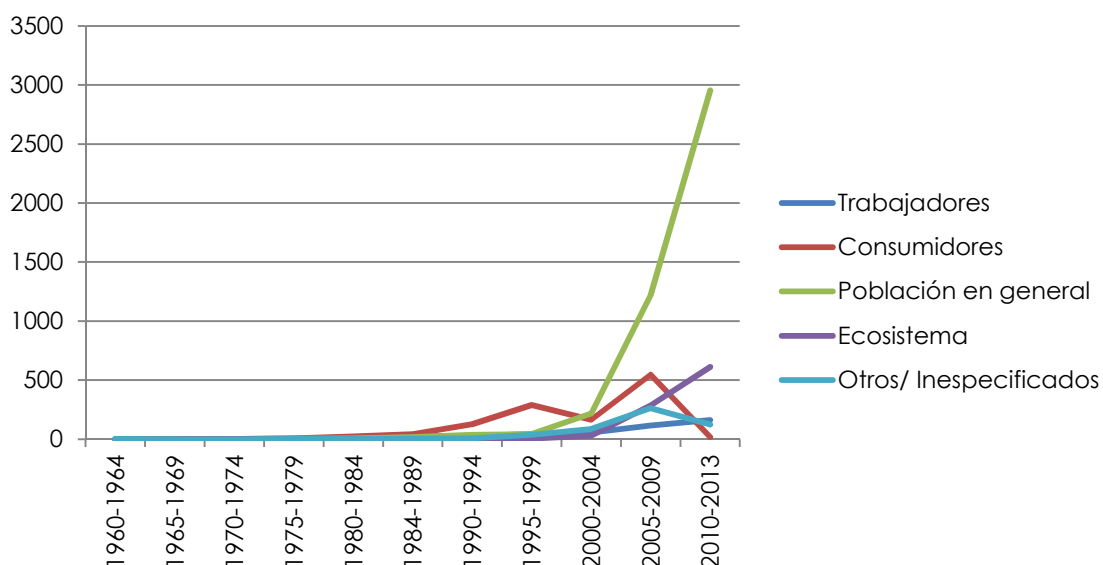
Gráfica 6: Evolución temporal (1960-2013) de las publicaciones de las bases de datos Medline y Web of Science en relación al tipo de nanopartícula.



Fuente: Herramienta de análisis de las bases de datos de ICON (International Council of Nanotechnology (ICON), 2013)

Menor interés despierta la temática de los posibles riesgos de los nanomateriales a los distintos grupos de riesgo a los que pueden ser expuestos, sin embargo su evolución exponencial es notable como se aprecia en la Gráfica 7, en particular al estudiar la población en general con un total de 4499 publicaciones, seguido de los consumidores con 1214, el ecosistema con 937, un grupo heterogéneo en que no se especifica el grupo específicamente con 524 y por último son los trabajadores es el grupo menos estudiado con 449 publicaciones.

Gráfica 7: Evolución (1960-2013) temporal de las publicaciones de las bases de datos Medline y Web of Science según el tipo de grupo de riesgo a exposición a nanomateriales



Fuente: Herramienta de análisis de las bases de datos de ICON (International Council of Nanotechnology (ICON), 2013)

4.2.2 PROYECTOS DE I+D EN NANOTECNOLOGÍA

La nanotecnología se ha identificado como una tecnología facilitadora esencial (TFE) que proporciona la base para continuar innovando y crear nuevos productos (European Commission, 2013a). Para mejorar estudiar y aprovechar la nanotecnología, la Unión Europea financia 2581 proyectos de I+D siendo Francia la que más proyectos dirige con 471 sin embargo España en quinto lugar, también desempeña un buen liderazgo dirigiendo 178 proyectos (European Commission,).

Respecto de la investigación europea en nano-seguridad, destaca la iniciativa de la Dirección General de Investigación e Innovación llamada *EU NanoSafety Cluster*, cuyo objetivo es maximizar las sinergias entre los proyectos que investigan sobre la nanotecnología en los aspectos de toxicología, ecotoxicología, evaluación de la exposición, mecanismos de interacción, evaluación de riesgos y estandarización (NanoSafety Cluster, a). *EU NanoSafety Cluster* agrupa a 31 proyectos, de los cuales 5 están dirigidos por un grupo español, correspondientes a FP7, 5 proyectos de FP6 y 7 proyectos de ámbito nacional (NanoSafety Cluster, b). Algunos proyectos interesantes son los siguientes:

- **MARINA:** desarrolla métodos de referencia para la evaluación de riesgos con nanomateriales (NanoSafety Cluster, c).
- **Scaffold:** proyecto coordinado por grupo español que desarrolla estrategias, métodos y herramientas para la gestión de los riesgos con nanomateriales en el sector de la industria de la construcción (NanoSafety Cluster, f).
- **NanEx:** Trabaja en la definición de las características de los posibles escenarios de exposición a nanomateriales (NanoSafety Cluster, d).
- **Nephh:** proyecto coordinado por grupo español que estudia los peligros para la salud y para el medio ambiente de los nanomateriales a través de su ciclo de vida (NanoSafety Cluster, e).

- **ENRHES:** El proyecto ya ha finalizado con la realización de un estudio científico exhaustivo y crítico sobre los efectos sobre la seguridad, la salud y el medio ambiente de los fullerenos, nanotubos de carbono, metales y óxidos metálicos (ENRHES, 2011).

Respecto a la investigación específica en la seguridad de los nanomateriales, la OECD tiene una base de datos con 732 grupos que trabajan en esta línea, de los cuales dos son españoles. En la base de datos se proporciona datos como el nombre del principal investigador, la organización a la que pertenece, el tema de investigación, los nanomateriales involucrados, el país... entre otras características (Organisation for Economic and Co-operation and Development (OECD), 2013a).

4.2.3 PATENTES EN EL ÁMBITO DE LA NANOTECNOLOGÍA

Los indicadores basados en patentes pueden utilizarse como herramienta para cuantificar y analizar el ascenso de la innovación en el ámbito de las *tecnologías emergentes*, como es el caso de la nanotecnología. Para el análisis, se ha tenido en cuenta a las familias de patentes triádicas, las cuales son definidas por (Organisation for Economic and Co-operation and Development (OECD) (2009) como:

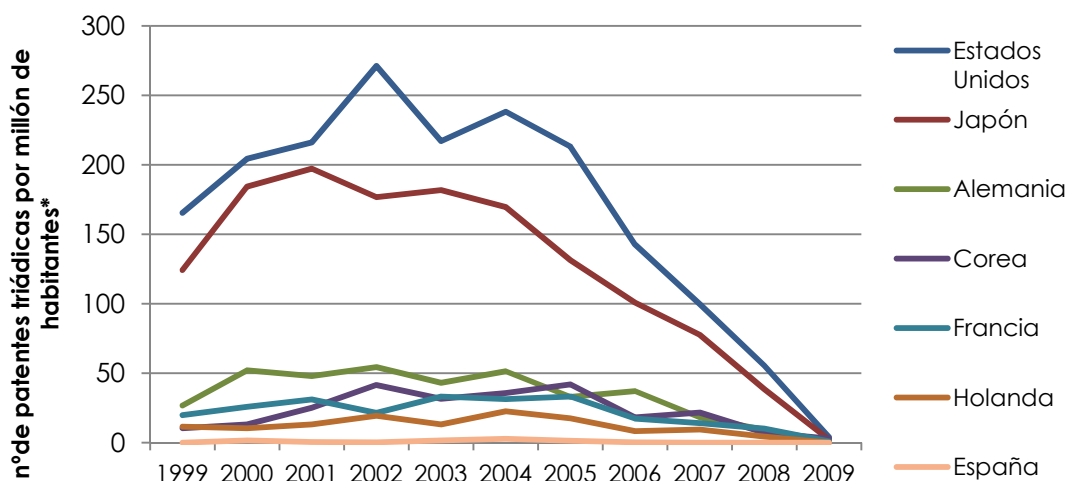
Conjunto de patentes obtenidas en la Oficina Europea de Patentes (OEP) o en la Oficina Japonesa de Patentes (JPO) y concedidas por la Oficina Estadounidense de Patentes y Marcas (USPTO) que tienen en común una o más prioridades. Las familias de patentes triádicas se consolidan para eliminar las duplicaciones en el recuento de patentes presentadas ante las distintas oficinas (es decir, reagrupando todas las prioridades interrelacionadas de los documentos de patente de la OEP, la JPO y la USPTO).

Se utilizan las familias de patentes triádicas por las siguientes razones:

- Permiten mejorar la comparativa internacional de los indicadores basados en patentes, puesto que sólo las que se solicitan en un mismo conjunto de países se incluyen en la familia, así se elimina la ventaja hacia la nación de origen y la influencia de la situación geográfica.
- Las patentes incluidas en la familia suelen ser de mayor valor, puesto que los titulares de la patente amplían la protección a otros países cuando consideran que merece la pena. Se selecciona el segmento alto de la distribución de patentes por valor (en términos de solicitudes a escala mundial), haciendo que los recuentos de familias de éstas sean más informativos y comparables que los recuentos nacionales o regionales.
- A pesar de que no hay estadísticas completas de patentes disponibles sobre familias de patentes triádicas hasta pasados aproximadamente tres años desde la fecha que interesa, debido a que la USPTO puede tardar hasta 44 meses desde que se realiza la solicitud hasta la concesión, se opta por este indicador porque tiene mayor calidad, se tratan de invenciones de alto valor que aspiran a cubrir los principales mercados internacionales, a diferencia de las solicitudes PCT. Estas últimas, por el contrario si tienen mayor fiabilidad temporal porque se publican a los 18 meses de la prioridad.

La Gráfica 8 pone de manifiesto que los países líderes son Estados Unidos con un total de 1827,0581 patentes triádicas por millón de habitantes, seguida por Japón con 1384,13577. Después se da un salto cuantitativo donde se encuentra Alemania con 373,1921, Corea con 248,8912, Francia con 238,1012 y a continuación Holanda con 129,4233, España se encuentra en un alejado puesto vigésimo cuarto con 8,1345.

Gráfica 8: Patentes triádicas en el ámbito de la nanotecnología por millón de habitantes de los siete países con mayor registro y España en el periodo 2000-2009



*Se ha tomado la fecha de prioridad (la primera solicitud de la patente en todo el mundo), el país de residencia del inventor y los recuentos son fraccionados.

Fuente: (Organisation for Economic and Co-operation and Development (OECD), 2013c)

4.2.4 INVERSIÓN ECONÓMICA EN EL DESARROLLO DE LA NANOTECNOLOGÍA.

El auge que está teniendo la nanotecnología en todo el mundo está propiciado por la potente inversión en recursos que realizan gobiernos y empresas conocedoras del potencial y del mercado existente al final de la cadena que transforma el saber en bienes de consumo, con el fin de hacer realidad las expectativas (Serena, 2010).

La política sobre ciencia, tecnología e innovación y la articulación de sus actuaciones de fomento y coordinación en investigación científica y técnica en España, se desarrollan según la Ley de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación. La Administración General del Estado a través del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016 desarrolla y financia las actuaciones de la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de innovación 2013-2020 (Ministerio de Economía y Competitividad de España, 2013b). Este Plan Estatal cuenta con algo más de 3.800.000.000 euros entre subvenciones y créditos (Ministerio de Economía y Competitividad de España, 2013a)

El Plan Estatal está dividido en varios programas, en concreto en el reto llamado *salud, cambio demográfico y bienestar* del Programa Estatal de I+D+i orientada a los retos de la sociedad, se indica explícitamente el desarrollo de la nanomedicina y de la nanotecnología como instrumentos de intervención en los procesos diagnósticos y de tratamiento en las enfermedades humanas. (Ministerio de Economía y Competitividad de

España, 2013b). Este reto contará con un presupuesto de 110.918.010 € (Instituto de Salud Carlos III (ISCIII), 2013).

Por otro lado en el Programa Estatal de liderazgo empresarial en I+D+i, en concreto en el subprograma de tecnologías facilitadoras esenciales, está contemplado el apoyo a los avances y difusión de las tecnologías facilitadoras, en las que se encuentra la nanotecnología. En este subprograma se financiarán proyectos de I+D+I orientados al desarrollo y difusión de las tecnologías facilitadoras esenciales y a proyectos de innovación y modernización tecnológica para incrementar las capacidades de absorción tecnológica de las empresas (Ministerio de Economía y Competitividad de España, 2013b).

Los proyectos con financiación europea se sufragan principalmente con los presupuestos de los programas marco. El primer programa que incluyó a la nanotecnología como objetivo primordial fue el FP6 (2002-2006) que contó con 15651 millones de euros, de los cuales se destinaron 1496 millones a nanotecnología en la UE y en concreto 110 para España (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), 2007). Actualmente está en actividad el FP7 (2007-2013), con un presupuesto total de 50521 millones de euros de los cuales 3475 millones está destinados al campo de la nanotecnología para la Unión Europea de los cuales 278,5 millones son para España (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), 2012; European Commission, 2011c).

Los objetivos de la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación están en sintonía con el futuro programa europeo *Horizonte 2020*. En éste se numeran los retos que afectan a la población europea y que deben ser abordados a través de una correcta orientación de las actividades de I+D+I. En principio el programa que se desarrollará desde 2014 hasta 2020, contará con 80000 millones de euros de los cuales 6000 millones serán destinados a la investigación con nanociencias, nanotecnologías, materiales y nuevas tecnologías de producción (Europa Press Releases RAPID, 2011).

5 APLICACIÓN EMPÍRICA

5.1 METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN EMPÍRICA

La metodología empírica se divide en las dos siguientes etapas: En este capítulo se muestran las diferentes fases de investigación y los resultados obtenidos en las siguientes etapas:

1ª ETAPA.- DETERMINACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE INVESTIGACIÓN.

En la fase 1: Se justifica el recurso de la encuesta como metodología de análisis cuantitativo. En esta fase se obtiene el "Borrador de Encuesta".

- Formulación de objetivos e hipótesis.
Este primer paso ya ha sido expuesto en el apartado 3.2 OBJETIVOS y 3.3 HIPÓTESIS DE ESTUDIO.
- Elaboración de instrumentos de medida (cuestionario).
En este siguiente paso se diseña el *Borrador* cuestionario, el cual se explica en el apartado 5.2.1.1 DISEÑO DEL CUESTIONARIO.

En la fase 2: Se justifica el panel de expertos como técnica de análisis cualitativo en el desarrollo de esta investigación. Se somete el Borrador de Cuestionario al Panel de expertos.

Como resultado de esta primera etapa se obtiene la "Cuestionario 0".

2ª ETAPA.- PRE-TEST.

Para la validación de la Cuestionario 0, se ha enviado la misma a un grupo de 5 científicos expertos en la materia, los cuales detectarán errores en la cumplimentación o de interpretación. En el momento actual no se dispone de los datos recogidos en esta etapa.

Una vez subsanadas las deficiencias observadas en el pre-test, se obtiene la "Encuesta definitiva" que servirá de base para la recogida de datos necesarios para esta investigación.

3ª ETAPA.- ELECCIÓN DE LA MUESTRA Y REALIZACIÓN DE LA ENCUESTA.

La población de estudio la compone los individuos que están expuestos a nanopartículas en su trabajo en España durante el tercer cuatrimestre del año 2013 y que desarrollan su actividad dentro de, bien Centros Tecnológicos, Universidad, Organismos Público de Investigación, Tejido empresarial o bien en Otros centros de investigación y desarrollo.

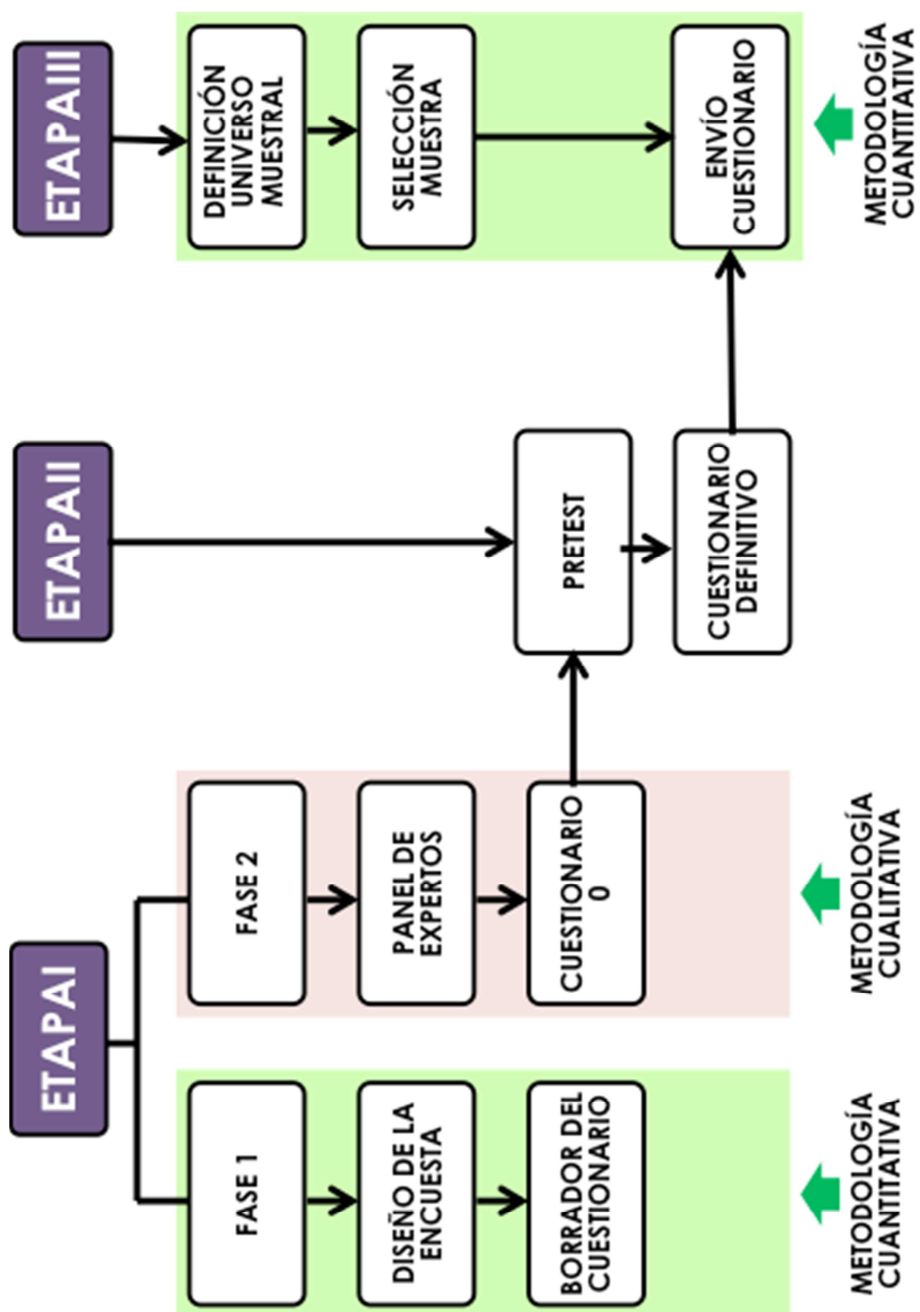
- Selección de la muestra.
En este paso el objetivo es la elección de la muestra a la cual se le enviará el cuestionario. Por tanto, en primer lugar se define el universo muestral, seguido de la determinación del marco muestral y el proceso de muestreo. Este paso es desarrollado en el apartado 5.2.1.2 DISEÑO DE LA MUESTRA.

Sin embargo en esta investigación sólo se ha definido el universo muestral y el listado de los individuos que compondrán el marco muestral de los grupos correspondientes a Universidad, Organismos Públicos y Otros centros, ya que en el momento actual no están definidos completamente los individuos de los grupos: Centros Tecnológicos y Tejido empresarial (en el apartado 5.4.1 UNIVERSO DE ESTUDIO se precisan las descripciones de los grupos del marco muestral que se acaban de enunciar).

Por tanto se plantea se plantea como continuación del presente trabajo, la definición de los individuos del marco muestral de los grupos: Centros Tecnológicos, Tejido empresarial y Otros centros, así como la elección de la muestra a través del proceso de muestreo.

Análisis de datos y elaboración del informe final: estos dos apartados se plantean como continuación del presente trabajo.

Gráfica 9: Desarrollo de la metodología para la aplicación empírica



Fuente: elaboración propia

5.2 DETERMINACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE INVESTIGACIÓN

Para la presente investigación se va a llevar a cabo en primer lugar una técnica cuantitativa (cuestionario) que será complementada con una técnica cualitativa (panel de expertos), como ya se expuso en el apartado anterior.

5.2.1 LA ENCUESTA COMO TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA

La técnica de investigación elegida para la presente investigación es la encuesta administrada por correo electrónico. La encuesta de cuestionario permite recopilar respuestas comparables entre una muestra de población cuando la muestra es lo bastante representativa, pueden realizarse estadísticas significativas que, a su vez, pueden requerirse para el establecimiento de indicadores cuantificados (European Commission, 2005a).

En particular, las encuestas administradas por correo electrónico se caracterizan porque el propio encuestado es quien, leerá el cuestionario y marcará sus respuestas en el cuestionario, a través de un link que recibirá a su correo electrónico, sin la presencia de un entrevistador (Cea D'Ancona, 2004).

Las potencialidades que señala Cea D'Ancona (2004), que se toman para justificar la elección de la encuesta administrada por correo como estrategia de investigación son las siguientes:

- Posibilita la obtención de una información, que aún limitada a la delineada por las preguntas que componen un cuestionario, permite estudiar un amplio abanico de cuestiones objetivas y subjetivas.
- Posibilita la obtención de una información de personas ubicadas en distintas áreas geográficas, en un plazo de tiempo breve, comparado con otras estrategias, sin gran inversión en recursos.
- Transmite al encuestado el sentimiento de mayor privacidad y anonimato de las respuestas, por lo tanto se propicia la sinceridad de las respuestas.
- El encuestado dispone del tiempo que él determine para reflexionar las respuestas, pudiendo contestar en el día y hora que el encuestado elija. Por lo tanto esto contribuye a aumentar la calidad de las respuestas.
- En general la encuesta administrada por correo electrónico, es menos vulnerable a los efectos de recencia y de primacía, a elegir la última o la primera de las alternativas de respuesta, por lo que limitan errores.
- Se puede formular preguntas con muchas opciones de respuesta entre las que elegir porque se pueden visualizar todas antes de responder.

Sin embargo, a pesar lo anteriormente expuesto, Cea D'Ancona (2004) también señala los inconvenientes que presenta la encuesta administrada por correo electrónico:

- No se puede controlar si fue la persona inicialmente seleccionada es quien realmente rellena el cuestionario.
- Problemas de no cobertura, que dependen de lo actualizado y completo que sea el marco (o listado de la población).
- Existen individuos de la población a los que no se puede acceder porque no existe la posibilidad de obtener su correo electrónico y por otro lado, también

habrá problemas de no cobertura con los individuos de la población que hayan sido seleccionados como fruto de la búsqueda en un listado o fuente desactualizada.

- No se puede asistir al individuo en caso de que tuviera dudas respecto al cuestionario.
- Vulnerable a errores de no respuesta (total y de ítem)

El programa utilizado para la administración de la encuesta es la plataforma web de denominada *LimeSurvey* (Centro de Servicios de Informática y Redes de Comunicaciones de la Universidad de Granada (CSIRC), b), la cual está basada en software libre y está puesta a disposición de la Universidad de Granada. (Centro de Servicios de Informática y Redes de Comunicaciones de la Universidad de Granada (CSIRC), a)

5.2.1.1 DISEÑO DEL CUESTIONARIO

El borrador del cuestionario se presenta estructurado en 11 secciones con un total máximo de 63 preguntas y un mínimo de 22 preguntas a resolver, las cuales se distribuyen de la siguiente manera:

- 1/11. DATOS GENERALES: con 10 preguntas a responder.
- 2/11. NANOMATERIALES: con 31 preguntas a responder como máximo y ninguna como mínimo.
- 3/11. SALUD LABORAL: con 3 preguntas a responder.
- 4/11. NORMATIVA Y LEGISLACIÓN: con 4 preguntas a responder como máximo y como mínimo 2.
- 5/11. INFORMACIÓN Y FORMACIÓN: con 3 preguntas a responder como máximo y 1 pregunta mínimo a responder.
- 6/11. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE PROTECCIÓN COLECTIVA: con 2 preguntas a responder como máximo y 1 pregunta mínimo a responder.
- 7/11. PROTECCIONES INDIVIDUALES: con 2 preguntas a responder como máximo y 1 pregunta mínimo a responder.
- 8/11. BUENAS PRÁCTICAS EN EL TRABAJO: con 1 preguntas a responder.
- 9/11. EVALUACIONES Y MEDICIONES HIGIÉNICAS: con 3 preguntas a responder como máximo y 2 preguntas mínimo a responder.
- 10/11. EMERGENCIAS: con 2 preguntas a responder como máximo y 1 pregunta mínimo a responder.
- 11/11. RESIDUOS: con 2 preguntas a responder como máximo y 1 pregunta mínimo a responder.

La razón por la cual se establecen un máximo y un mínimo de preguntas en cada sección es porque en el diseño del cuestionario se incluyen preguntas tipo filtro. Por pregunta filtro se entiende que son las "que se formulan con anterioridad a otra (u otras), con la finalidad de eliminar a los sujetos a los que no procede hacer la pregunta siguiente" (Cea D'Ancona, 2004).

El tipo de pregunta utilizada ha sido principalmente de tipo cerrada (atendiendo a las respuestas que admite), para facilitar el proceso de análisis estadístico de los resultados. También atendiendo a la posibilidad de marcar varias preguntas. Respecto a la posibilidad de elección de respuestas, se incluyen tanto preguntas de opción única como múltiple.

Debido a que no se puede asistir al individuo en caso de que tuviera dudas respecto al cuestionario, como señala Cea D'Ancona (2004), por las características intrínsecas de la encuesta administrada por correo electrónico, se incluye en la carta de presentación del correo electrónico la posibilidad de contactar con el personal responsable. También en algunas preguntas del cuestionario, que pudieran prestarse a confusión por parte del encuestado, se aclaran términos y se indican las instrucciones de cumplimentación.

También se ha tenido en cuenta, tal y como recomienda Cea D'Ancona (2004) para aumentar la tasa de respuesta, ofrecer el cuestionario con un diseño atractivo, intuitivo, con colores y gráficos que atraigan la atención del encuestado y facilite su contestación. En la Figura 33 se muestra la apariencia que tiene el cuestionario.

Figura 33: Interfaz del cuestionario elaborado con LimeSurvey.

Logo of the University of Granada (UGR) and the text "Universidad de Granada".

Nanotecnología y Prevención de Riesgos Laborales

Universidad de Granada
Máster de Gestión y Seguridad Integral en la Edificación

0% 100%

1/11. DATOS GENERALES

* 1.1 Marque la provincia española en donde desarrolla su principal actividad laboral.

Seleccione una de las siguientes opciones

Por favor escoja...

? Si trabaja en varias provincias, elija la provincia donde principalmente realice su trabajo en relación con los nanomateriales.

* 1.2 ¿Cuál es su titulación académica de mayor rango?

Seleccione una de las siguientes opciones

- ☐ Educación Secundaria Obligatoria
- ☐ Formación Profesional Específica de Grado Medio
- ☐ Formación Profesional Específica de Grado Superior
- ☐ Bachiller
- ☐ Diplomado, Ingeniero Técnico, Arquitecto Técnico

Fuente: imagen del cuestionario utilizando LimeSurvey.

5.2.1.2 DISEÑO DE LA MUESTRA

El diseño de la muestra pretende obtener un conjunto de individuos suficientemente representativa para que proporcione una información extrapolable al conjunto de la población objeto de estudio o universo de estudio (Rodríguez de Prada, 1996).

Para ello, en primer lugar, se procede a la delimitación del universo de estudio y en segundo lugar, se requiere la confección de un marco muestral de donde poder tomar los individuos mediante un método de muestreo que compondrán la muestra representativa.

UNIVERSO DE ESTUDIO

“Por población o universo de estudio se entiende el conjunto de unidades para las cuales se desea obtener cierta información” (Cea D’Ancona, 2004); por lo tanto en la presente investigación, la población de estudio la compone los individuos que están expuestos a nanopartículas en su trabajo, en España durante el tercer cuatrimestre del año 2013 y que desarrollan su actividad dentro de uno de los siguientes grupos:

- Centros Tecnológicos.
- Universidad.
- Organismos Público de Investigación.
- Tejido empresarial.
- Otros centros de investigación y desarrollo.

A continuación se explica cada núcleo del universo de estudio:

- Centro tecnológico

Este grupo está formado por los Centros Tecnológicos, que están listados en el Registro de Centros Tecnológicos, creado por el Real Decreto 2093/2008 y que han indicado que realizan alguna actividad en relación con la nanotecnología y aquellos centros que se presentan como Centros Tecnológicos aún no figurando en el Registro.

Según el Real Decreto 2093/2008 por el que se regulan los Centros Tecnológicos y los Centros de Apoyo a la Innovación Tecnológica de ámbito estatal y se crea el Registro de tales Centros; se considera Centro Tecnológico:

Aquellas entidades sin ánimo de lucro, legalmente constituidas y residentes en España, que gocen de personalidad jurídica propia y sean creadas con el objeto, declarado en sus estatutos, de contribuir al beneficio general de la sociedad y a la mejora de la competitividad de las empresas mediante la generación de conocimiento tecnológico, realizando actividades de I+D+i y desarrollando su aplicación. Esta función de aplicación del conocimiento comprenderá, entre otras: la realización de proyectos de I+D+i con empresas, la intermediación entre los generadores del conocimiento y las empresas, la prestación de servicios de apoyo a la innovación y la divulgación mediante actividades de transferencia de tecnología y formativas (Ministerio de Ciencia e Innovación, 2009).

- Universidad

En este incluyen grupo se incluyen: los Departamentos de Escuelas y Facultades, los Institutos Universitarios de Investigación, los Institutos Mixtos de Investigación y los centros adscritos universitarios. Por tanto se incluyen aquellos centros relacionados con el ámbito universitario. A continuación se definen cada uno según (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2001):

Los departamentos son las unidades de docencia e investigación encargadas de coordinar las enseñanzas de uno o varios ámbitos del conocimiento en uno o varios centros, de acuerdo con la programación docente de la universidad, de apoyar las actividades e iniciativas docentes e investigadoras del profesorado, y de ejercer aquellas otras funciones que sean determinadas por los estatutos.

Las escuelas y facultades son los centros encargados de la organización de las enseñanzas y de los procesos académicos, administrativos y de gestión conducentes a la obtención de títulos de grado. Podrán impartir también enseñanzas conducentes a la obtención de otros títulos, así como llevar a cabo aquellas otras funciones que determine la universidad.

Los Institutos Universitarios de Investigación son centros dedicados a la investigación científica y técnica o a la creación artística. Podrán organizar y desarrollar programas y estudios de doctorado y de postgrado según los procedimientos previstos en los Estatutos, y proporcionar asesoramiento técnico en el ámbito de sus competencias.

Los Institutos Universitarios de Investigación podrán ser constituidos por una o más universidades, o conjuntamente con otras entidades públicas o privadas mediante convenios u otras formas de cooperación, de conformidad con los estatutos.

Los Institutos Mixtos de Investigación son institutos que constituyen las universidades, conjuntamente con los Organismos Públicos de Investigación, con los centros del Sistema Nacional de Salud y con otros centros de investigación públicos o privados sin ánimo de lucro.

Los centros adscritos a universidades, zona aquellos centros que mediante convenio, se han adscrito a universidades públicas, como institutos universitarios de investigación, instituciones o centros de investigación de carácter público o privado.

- Organismos público de investigación

En este grupo se incluyen los centros, institutos y unidades de investigación de los siguientes Organismos Públicos de Investigación: el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), el Instituto de Salud Carlos III (ISCIII) y sus Institutos de Investigación Sanitarias. Son definidos como Organismos Públicos:

Los creados para la ejecución directa de actividades de investigación científica y técnica, de actividades de prestación de servicios tecnológicos, y de aquellas otras actividades de carácter complementario, necesarias para el adecuado progreso científico y tecnológico de la sociedad, que les sean atribuidas por esta ley o por sus normas de creación y funcionamiento (Ministerio de Ciencia e Innovación, 2011).

- Tejido empresarial

En este grupo se incluyen aquellas empresas con actividad específica en nanotecnologías o con productos y/o procesos basados en ellas. Pero no son incluidas aquellas empresas que aún incorporando en su actividad productos y/o procesos basados en nanotecnologías no son miembros de ninguna plataforma o red que manifieste de forma explícita la incorporación de estas tecnologías en su actividad.

- Otros centros

En este grupo se incluyen aquellos que no perteneciendo a los grupos anteriores, desarrollan de forma autónoma actividades de investigación y desarrollo.

También se incluyen en este grupo a los Centros de Investigación Cooperativa, entendiendo por éstos aquellos centros en los que co-participan, en función de sus objetivos e intereses, instituciones públicas, entidades de investigación, desarrollo e innovación tecnológica, agentes científico-tecnológicos internacionales o, en general, por cualquier otro tipo de agente de interés para los objetivos del Centro. De forma que integran las capacidades de distintos agentes científico-tecnológicos (Agencia de desarrollo empresarial del Gobierno Vasco (SPRI), 2013)

A continuación recogen las fuentes de donde se ha obtenido los núcleos del universo de estudios. Para ello, se ha procedido a la búsqueda de las principales redes y plataformas tecnológicas que participan en el escenario actual de la nanotecnología en España, a continuación se listan:

- Redes

NanoSpain: Es la Plataforma Española de Nanotecnología NanoSpain. Esta Red tiene como objetivo prioritario promover el intercambio de conocimiento entre grupos españoles que trabajan en los diferentes campos relacionados con Nanociencia y Nanotecnología (N&N), fomentando la colaboración entre universidades, instituciones de investigación públicas y privadas e industria. Proporciona a los grupos españoles que trabajan en Nanotecnología un medio donde presentar los resultados de sus investigaciones a través del sitio web de la red y de reuniones multidisciplinarias (Red Española de Nanotecnología (NanoSpain), 2013a).

NanoICT: Esta iniciativa tiene como objetivo dar mayor visibilidad, formación y consolidar en la Comunidad Europea la investigación en dispositivos TIC (Tecnologías de la información y la comunicación) a nanoescala. (Fundación Phantoms, 2013).

NanoBasque: Es una estrategia del Departamento de Industria, Innovación, Comercio y Turismo del Gobierno Vasco para la incorporación de las micro y nanotecnologías en las empresas vascas (NanoBasque, 2013).

M4nano: Es una WEB-based iniciativa liderada por cuatro instituciones españolas: Fundación Phantoms, el Parque Científico de Madrid (PCM), Universidad Autónoma de Madrid (UAM) y la Universidad Complutense para mantener un flujo sistemático de información entre los grupos de investigación y por lo tanto evitar que los esfuerzos de investigación en nano-modelaje se fragmenten (M4Nano, 2013).

Ciber-BBN: El Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN) es uno de los nueve consorcios

CIBER existentes en el país, cuya creación ha sido liderada por el Instituto de Salud Carlos III (ISCIII) para fomentar la investigación de excelencia y la masa crítica de investigadores en el campo de la Biomedicina y las Ciencias de la Salud. (Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN), 2013).

Nanoaracat: Es el programa específicos de colaboración llevado a cabo por las Comunidades Autónomas de Aragón y Cataluña para el fomento y coordinación de actuaciones conjuntas de I+D+I en el ámbito de la nanociencia. (Red Española de Nanotecnología (NanoSpain), 2013b).

Nanovalor El Proyecto Nanovalor tiene la misión principal de fortalecer los vínculos institucionales entre los actores clave en el campo de la nanotecnología en las regiones Norte de Portugal y Galicia, a través de la creación y formalización de un Polo de Competitividad (PCT) (Nanovalor, 2013).

Nanolito es la Red Española de Nanolitografía. Con la creación de Nanolito, se pretende una optimización en el uso y coordinación de las infraestructuras científico-tecnológicas que existen hoy en día en España en el campo de la Nanolitografía (Red Nanolito, 2013).

ETSF (European Theoretical Spectroscopy Facility) El ETSF es un centro de conocimiento para la espectroscopia teórica y que se dedica fundamentalmente al estudio de las propiedades electrónicas y ópticas de materiales. El ETSF reúne la experiencia y el know-how de más de 200 investigadores de Europa y Estados Unidos, lo que facilita la colaboración y transferencia de conocimientos rápido. ETSF ofrece su experiencia a los investigadores, la industria y los estudiantes en forma de proyectos de colaboración, software científico libre y formación (European Theoretical Spectroscopy Facility (ETSF), 2013).

NANODYF Red José Roberto Leite de Divulgación y Formación en Nanotecnología. NANODYF, es una red temática iberoamericana perteneciente al Área 6 Ciencia y Sociedad, del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) (Red Española de Nanotecnología (NanoSpain), 2013b).

TECNIO Es la marca que identifica a los centros tecnológicos y grupos universitarios expertos en investigación industrial y en transferencia tecnológica en Cataluña. (Generalitat de Catalunya, 2013). Es la red catalana de los principales centros tecnológicos de I+D en Cataluña (Generalitat de Catalunya, 2013).

BioNanoMed: Es la alianza de la nanobiomedicina en Cataluña, que nace con el propósito de desarrollar e impulsar este sector dentro de la BioRegión de Cataluña. La visión de esta alianza es Potenciar las sinergias entre grupos y centros de investigación, hospitales y empresas en Cataluña para crear

nuevas oportunidades de investigación y negocio en nanobiomedicina e incrementar la visibilidad internacional (BioNanoMed Catalunya, 2013).

NANOWERK: Es un portal web que ofrece distintas herramientas información sobre la nanotecnología. Destaca su base de datos de nanomateriales y los directorios de empresas e instituciones que tienen actividad en el sector de la nanotecnología a nivel mundial (Nanowerk, 2013c).

Ibernarnam: es la Red Española en Micro y Nanosistemas, una asociación Nacional sin ánimo de lucro que integra a los principales grupos nacionales procedentes de Universidades, Centros Públicos y Privados de Investigación, Centros Tecnológicos y Empresas con actividad acreditada en las citadas áreas científicas y tecnológicas (Ibernarnam, 2013). El espíritu de esta colaboración se orienta hacia la aplicación industrial de los nanomicrodispositivos, propiciando y participando además en proyectos que permitan profundizar en la adquisición de las habilidades precisas en nanotecnologías que asegure, a medio plazo, su desarrollo en aplicaciones industriales (Ibernarnam, 2013).

- Plataformas tecnológicas

Plataforma Tecnológica Española de Materiales Avanzados y nanomateriales (MATERPLAT): La plataforma tiene como objetivo principal desarrollar un adecuado marco de colaboración entre las empresas, universidades, centros tecnológicos y de investigación interesados en promover el desarrollo y aplicación de los materiales avanzados y nanomateriales (Plataforma Tecnológica Española de Materiales Avanzados y Nanomateriales (MATERPLAT), 2013).

Plataforma Tecnológica Española Impresión e Industrias Afines (3NEO) : La Plataforma 3NEO nace promovida por los Centros Tecnológicos y Centros Públicos de Investigación y empresas del sector y engloba los principales agentes sociales relacionados directa o indirectamente con las Tecnologías de Impresión y sectores afines; principalmente universidades, centros de investigación y asociaciones empresariales que representan el tejido industrial y empresarial; abarcando toda la cadena de valor que aplica a las Tecnologías de Impresión. Esta plataforma tiene como finalidad principal potenciar el desarrollo de las Tecnologías de Impresión, nuevos materiales y nuevas aplicaciones en base a la funcionalización de materiales y del producto impreso en España, especialmente en lo relativo a incrementar el esfuerzo y eficacia de su I+D+i y su repercusión en la sociedad, en siete sectores económicos identificados como claves: Industrias Gráficas y del Envase y Embalaje, Industria Cerámica, Industria Textil, Industria Papelera, Industria del Plástico, Industria de Tintas y Barnices y Electrónica Orgánica (Plataforma Tecnológica (3NEO), 2013).

Plataforma de Nanomedicina (NANOMED) Es una iniciativa que pretende aglutinar a los principales actores españoles de la investigación, la industria y la administración, con el fin de impulsar una estrategia común en un campo tan sumamente multidisciplinar. La industria del sector biomédico y

biotecnológico juega un papel de liderazgo en la Plataforma (Red Española de Nanotecnología (NanoSpain), 2013b).

Plataforma Tecnológica Nacional (FOTÓNICA21). El objetivo fundamental de Fotónica21 es vertebrar de forma eficiente el proceso de innovación industrial de la tecnología fotónica y sus aplicaciones. Uno de los objetivos principales de Fotónica21 es aumentar la participación española en el VII Programa Marco de la Unión Europea, en el ámbito de las prioridades de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (ICT), Nanotecnologías, Materiales y Procesos de Producción (NMP) y Seguridad (SEC), entre las más importantes. (Plataforma Tecnológica Española de Fotónica (Fotónica21), 2013).

Plataforma Tecnológica Española de Nanoelectrónica y Sistemas inteligentes (GENESIS): La Plataforma Tecnológica sobre Nanoelectrónica e Integración de Sistemas Inteligentes, tiene por objetivo promover el posicionamiento estratégico de España en las áreas indicadas. La Plataforma Tecnológica Nacional sobre Nanoelectrónica e Integración de Sistemas Inteligentes está promovida por GAIA-Asociación de Industrias de las Tecnologías Electrónicas y de la Información, el CNM-Centro Nacional de Microelectrónica y por CIDETEC-Centro de Investigación Tecnológica en Electroquímica. Además, cuenta con el apoyo y colaboración del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, el Ministerio de Educación y Ciencia, el CDTI - Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial. (Red Española de Nanotecnología (NanoSpain), 2013b)

Como resultado del proceso de identificación de los escenarios donde se manifiesta la nanotecnología en España, se ha obtenido los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 14. Además en la Figura 34, se representa la distribución por Comunidades Autónomas.

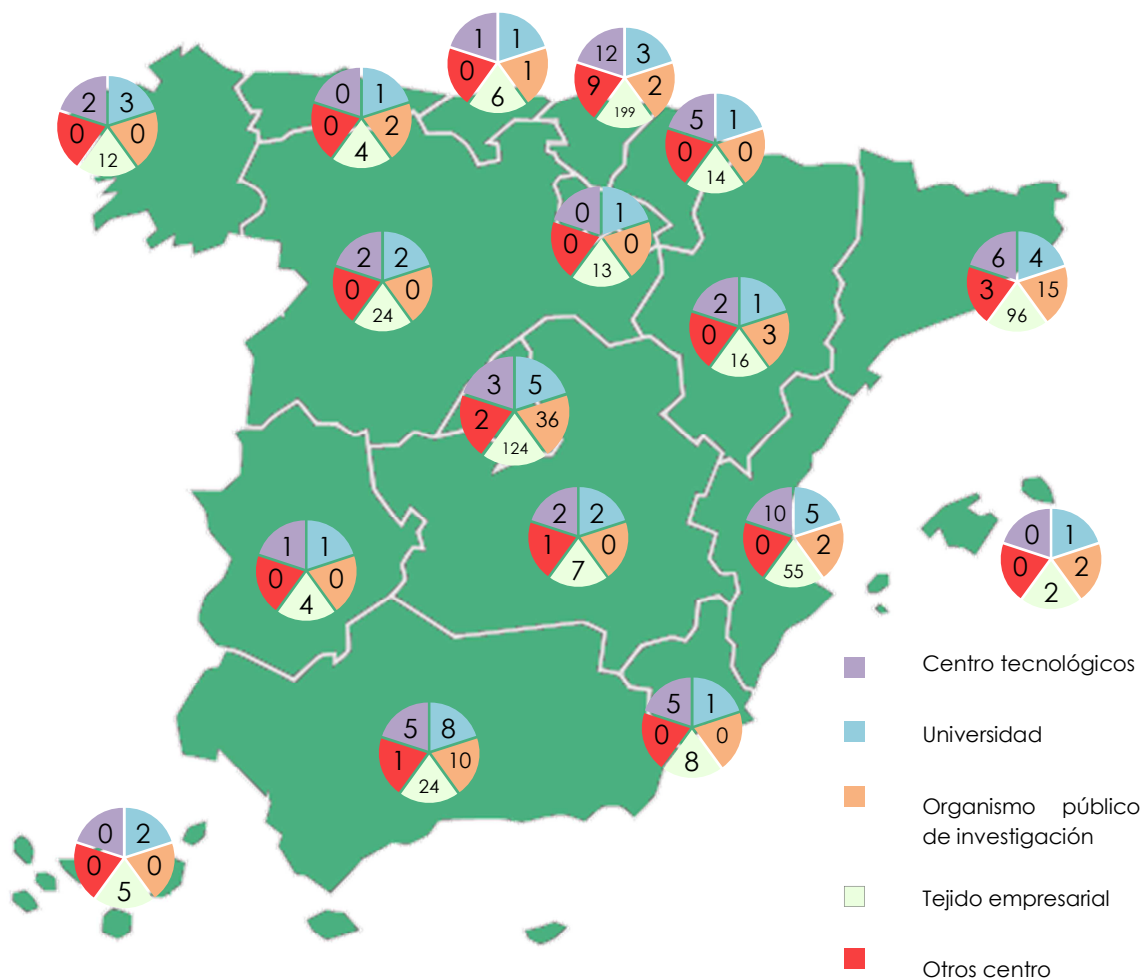
Se indica que los núcleos identificados son las entidades, (por ejemplo: Universidad de Granada, Universidad de Jaén...) son las que se estiman que tienen previsiblemente, al pertenecer a las redes o plataformas analizadas, actividad específica en el campo de la nanotecnología.

Tabla 14: Número de los núcleos del universo correspondientes a cada grupo definido para la investigación en total

Centro Tecnológico	Universidad	Organismos Públicos de Investigación	Tejido empresarial	Otros centros	Total
56	43	73	613	16	801

Fuente: elaboración propia.

Figura 34: Identificación del número de núcleos del universo de estudio correspondientes a cada grupo definido para la investigación por Comunidades Autónomas.



Fuente: elaboración propia. Silueta del mapa tomada de (Observatorio Español de I+D+I (ICONO), 2013)

MARCO MUESTRAL: LISTADO DE INDIVIDUOS

“Por marco muestral se entiende el listado que comprende a las unidades de la población de estudio y que se utilizará para la extracción de la muestra” (Cea D’Ancona, 2004). En esta investigación se entiende que el individuo está identificado cuando de él se conoce su nombre y correo electrónico.

A continuación se explica cómo se han localizado los actores de la nanotecnología en España. Una vez perfilado los límites y la heterogeneidad del universo de estudio y del marco muestral, la relación nominativa de los individuos que lo componen será fruto de la fusión de los listados obtenidos de las siguientes fuentes:

- Listados de los miembros identificados de las redes con iniciativas específicas en nanotecnología.
- Listados de participantes en congresos y conferencias relacionados con el ámbito de la nanotecnología.

- Listados obtenidos como fruto de la búsqueda del personal expuesto a nanopartículas en los grupos: Centros Tecnológicos, Universidad, Organismos Públicos de Investigación, tejido empresarial y otros centros

Para el caso de la identificación de los individuos en los grupos de universidad, Organismos Públicos de Investigación y otros centros; se ha procedido a realizar una exploración exhaustiva de los contenidos de las páginas web de los centros, localizando las líneas de investigación y/o desarrollo relacionadas con la nanotecnología e identificando a los grupos que las integran para finalmente obtener las relaciones nominales de los miembros que participan en ellas, utilizando como palabra clave de búsqueda: “*nano*”.

Para el caso de la identificación de los individuos de los grupos: tejido empresarial y Centros Tecnológicos, se propone para el apartado 7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN, el proceder a establecer contacto telefónico con las, para solicitar su colaboración, a través de la aportación de los listados de correos electrónicos del personal que está expuesto a nanomateriales en sus centros de trabajo.

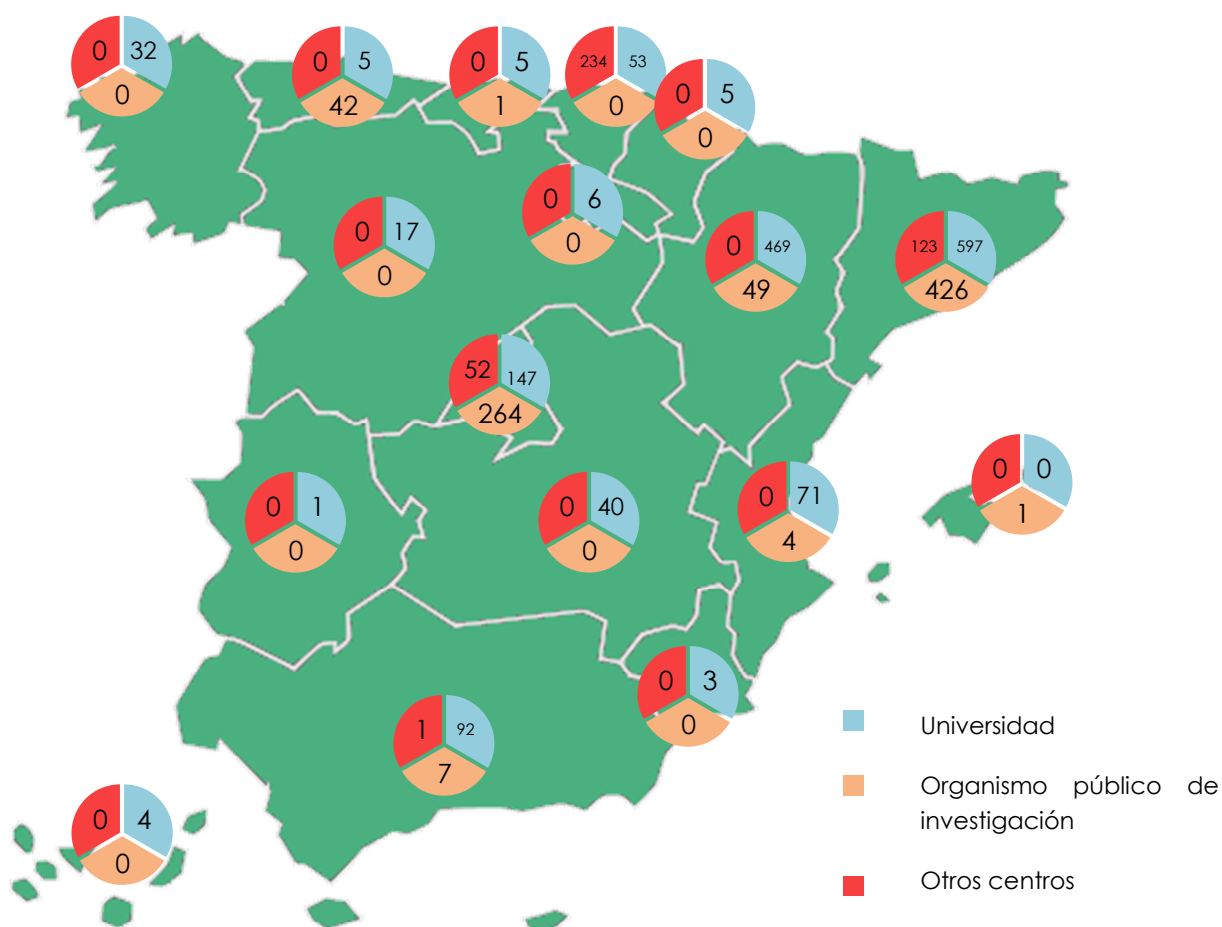
A continuación se en la Tabla 15 se especifica la cantidad de individuos identificados para los grupos de Universidad, Organismos Público de Investigación y Otros centros. Además en la Figura 35, se representa la distribución por Comunidades Autónomas.

Tabla 15: Cantidad de individuos identificados.

Universidad	Organismo Público de Investigación	Otros centros	Total
1547	794	410	2751

Fuente: elaboración propia.

Figura 35: Identificación del número de individuos correspondientes a los grupos: universidad, Organismos Públicos de Investigación y otros centros diferenciados por Comunidades Autónomas.



Fuente: elaboración propia. Silueta del mapa tomada de (Observatorio Español de I+D+I (ICONO), 2013)

MÉTODO DE MUESTREO

Una vez se concluya la identificación completa del listado de individuos que componen el marco muestral, se procederá a la extracción de la muestra mediante el método de muestreo estratificado. Esta etapa se propone para llevarla a cabo en el apartado 7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

El método de muestreo estratificado, tal y como indica Cea D'Ancona (2004), es un método probabilístico, y éste posibilita que:

- Cada unidad de la población del marco muestral tenga la misma probabilidad (conocida a priori) de participar en la muestra.
- La elección de cada unidad sea independiente de las demás
- El cálculo de la precisión de las estimaciones muestrales (el error muestral) respecto a los parámetros poblacionales puede hacerse dentro de unos márgenes de probabilidad específicos.

En términos generales, el muestreo aleatorio estratificado consiste en la clasificación de la población del marco muestral en grupos o estratos mutuamente excluyentes (que son

internamente homogéneos y diferentes de los otros grupos), con respecto a las características registradas en el marco muestral.

Su aplicación se justifica en la voluntad de garantizar la presencia en la muestra de los grupos de población que por su menor representación en la población, y siendo de interés su estudio, tienen escasa probabilidad de ser elegidos para formar parte de la muestra. Y también para conseguir estimaciones de parámetros poblacionales más precisas en los distintos grupos de población, al reducirse la variabilidad de los datos.

En la muestra se propone una sola fase de estratificación. La variable elegida es el *tipo de organización* al que pertenece el trabajador, ya que se prevé que afectará a la varianza de las variables y por lo tanto se considera que tiene relevancia en la explicación al problema de la presente investigación.

- Centros Tecnológicos.
- Universidad.
- Organismos Público de Investigación.
- Tejido empresarial.
- Otros centros de investigación y desarrollo.

Una vez clasificada la población en estratos, se afija la muestra en cada estrato. Por afijación se entiende la distribución del tamaño muestral global entre los estratos diferenciados, siendo la modalidad de agrupación propuesta la proporcional. De forma que la distribución de la muestra se hace proporcional al peso relativo del estrato en el conjunto de la población.

5.2.2 EL PANEL DE EXPERTOS COMO TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN CUALITATIVA

Para validar cualitativamente el cuestionario se ha realizado una consulta a un panel de expertos. La finalidad de esta fase es identificar errores de especificación y otros errores de medición referidos al cuestionario, así como realizar aportaciones que pudieran enriquecer y completar el cuestionario. De forma que los expertos podrán manifestar sus opiniones sobre cada pregunta del cuestionario, valorar sus atributos y realizar las aportaciones. El resultado final de este proceso es el Cuestionario 0 (apartado 9.3 CUESTIONARIO 0).

En esta investigación se ha incorporado de forma complementaria a la Encuesta de cuestionario (metodología cuantitativa), la herramienta cualitativa del panel de expertos para validar por las potencialidades que tiene y que son señaladas por López (2013):

- Las opiniones del panel permiten adoptar la investigación a una realidad más dinámica, como son los aspectos relacionados con la Seguridad y Salud. Por ejemplo Andriessen (1978) realizó una experiencia similar.
- El tema está bien definido y requiere la opinión de expertos de alto nivel.
- Porque la extensión de la evaluación es limitada y/o no se dispone de los recursos suficientes para otras herramientas. El panel de expertos permite por tanto un ahorro de tiempo y de costes en relación con otras herramientas.

- Las conclusiones gozan de gran credibilidad debido a la reputación de los expertos.
- Tiene capacidad de adaptación a las diferentes situaciones que pudieran surgir durante la evaluación.

Por el contrario presenta las siguientes limitaciones atribuidas a los métodos cualitativos, como es la dificultad de la generalización por la incorporación del componente subjetivo de la herramienta. Además presenta limitaciones, como por ejemplo que haya sesgos debido a la empatía del experto con el tema evaluado, o la tendencia de los expertos de exceder sus competencias reconocidas (M. López, 2013).

5.2.2.1 VALIDACIÓN DEL CUESTIONARIO POR PANEL DE EXPERTOS

COMPOSICIÓN DEL PANEL DE EXPERTOS

En primer lugar se procedió a la selección del panel de expertos, par la cual se ha tenido en cuenta los siguientes criterios que aconseja Landeta (1999) para la selección de los miembros en un panel de expertos:

- Los participantes del panel deben de poseer un bagaje intelectual sobre la materia de estudio que enmarcan la presente investigación, por tanto atesoran conocimientos o experiencia y/o están muy implicados en esa área objeto de estudio. Estas cualidades han sido valoradas en función de parámetros como los años de experiencia, publicaciones, prestigio, puesto profesional o rango académico.
- La situación y recursos personales de los participantes les permite contribuir y participar positivamente en la investigación.
- Además para acotar las limitaciones que presenta la herramienta (M. López, 2013), se ha seleccionado a personal independiente con respecto a la investigación.

Como fruto de estas condiciones a cumplir (categoría profesional y disponibilidad de participación), el panel de expertos está compuesto por nueve miembros y está dividido en cinco grupos distinguidos por las áreas de conocimiento que los expertos dominan.

El número de expertos (nueve) se considera suficiente porque las áreas de conocimiento que enmarcan la presente investigación se consideran representadas y además se consigue representar distintos colectivos abarcando también una amplia dispersión geográfica entre los componentes. Además si tomamos de referencia los requerimientos para el panel de expertos, no existen correlaciones significativas entre el número del panel de expertos y la efectividad del mismo (Boje & Murnighan, 1982; Brockhoff, 1975) y además el panel podría tener desde tres miembros hasta 80, aunque en la mayoría de estudios se incorporan de ocho a 16, siendo ocho por tanto el mínimo requerido (Rowe & Wright, 1999).

EXPERTOS EN PREVENCIÓN EN EL ÁMBITO NANOTECNOLOGÍA (AGENCIA PÚBLICA INVESTIGACIÓN/INSHT) (3)

- Marta Bermejo Bermejo.

Médico Especialista en Medicina del Trabajo y Jefe de la Unidad de Vigilancia de la Salud y Medicina del Trabajo del CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

- Virginia Gálvez Pérez.

Directora del departamento de Higiene del Centro Nacional de Nuevas Tecnologías del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

- Mercedes Colorado Soriano.

Técnico Superior de Prevención del Departamento Higiene del Centro Nacional de Nuevas Tecnologías del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

EXPERTOS PREVENCIÓN EN EL ÁMBITO NANOTECNOLOGÍA (CENTROS TECNOLÓGICOS/CORPORACIÓN TECNOLÓGICA) (2)

- Socorro Vázquez Campos.

Doctora en Ciencias Químicas y Coordinadora del grupo de nano-seguridad y salud del Centro Tecnológico LEITAT.

- Jesús María López de Ipiña.

Ingeniero Técnico Industrial y Coordinador de la Unidad de Seguridad Industrial de TECNALIA y Coordinador de Riesgos emergentes y Nano-Seguridad de PESI.

EXPERTOS PREVENCIÓN EN EL ÁMBITO NANOTECNOLOGÍA (EXPERIENCIA INDUSTRIA) (1)

- José Vera-Agullo

Ingeniero Químico y Jefe del Grupo de Materiales Tradicionales del Centro Tecnológico I+D+i. ACCIONA.

EXPERTOS EN NANOTECNOLOGÍA (DOCENCIA/INVESTIGACIÓN) (1):

- Jorge F. Fernández Sánchez

Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad de Granada (2003). Profesor de la Universidad de Granada (2009), socio fundador de nanoMyP® (2011) y especialista en el desarrollo de fases sensores ópticas poliméricas e híbridas basadas en nanomateriales.

EXPERTOS EN PREVENCIÓN Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN (2)

- Juan Carlos Rubio Romero.

Doctor Ingeniero Industrial y Director de la Cátedra de Prevención de Riesgos Laborales de la Universidad de Málaga.

- Eugenio Pellicer Armiñana.

Doctor Ingeniero de Caminos por la Universidad Politécnica de Valencia

PROTOCOLO DE ACTUACION DEL PANEL DE EXPERTOS

Una vez elegidos los expertos, se procedió al propio proceso de validación de la estructura del cuestionario. En primer lugar recibieron una invitación vía email para participar en el proceso, en el cual se explicaba con claridad los objetivos de la investigación, el personal involucrado en la misma, así como se les fue adjunto el cuestionario en formato *pdf* y dos links que enlazaban a dos cuestionarios *online*. De esta forma se acota la limitación que supone la herramienta del panel (M. López, 2013), cuando los expertos tienen a extralimitar su cometido en la investigación.

Al principio, ante la falta de respuesta inicial, se procedió al envío de recordatorios a los expertos, hasta que finalmente fueron 9 los que participaron en el proceso.

Para completar el procedimiento de validación del cuestionario los expertos debían, mediante el acceso al link correspondiente, contestar los dos cuestionarios a los cuales se accedí. La estrategia diseñada a seguir por el experto consistía en rellenar en primer lugar el cuestionario denominado *Itinerario Positivo*, (apartado 9.1 PANEL DE EXPERTOS: CUESTIONARIO POSITIVO). En este cuestionario la instrucción a seguir fue responder siempre de forma positiva en las preguntas cuyas opciones de respuesta fueran Sí/No/NS-NC. Cada pregunta que se visualizaba aparecía acompañada de un cuadro de texto en donde el experto podía manifestar su opinión sobre cada pregunta.

Una vez completado el *Itinerario Positivo*, se procedía a rellenar el cuestionario denominado *Itinerario Negativo* (apartado 9.2 PANEL DE EXPERTOS: CUESTIONARIO NEGATIVO). En este cuestionario la instrucción a seguir fue responder siempre de forma negativa en las preguntas cuyas opciones de respuesta fueran Sí/No/NS-NC. Cada pregunta que en el anterior itinerario no se había visualizado aparecía ahora acompañada de un cuadro de texto en donde el experto podía manifestar su opinión sobre cada pregunta. Para finalizar el proceso de validación, en la última sección del *Itinerario Negativo*, denominada *Valoración General* se solicitaba una evaluación general del cuestionario.

En la sección *Valoración General*, se utilizó una escala *Likert* de 5 niveles para preguntar sobre cuestiones del cuestionario como: estructura, extensión, claridad y concreción de las preguntas, valoración del tiempo necesario para realizar la encuesta y el nivel de alcance de los objetivos logrados. Por último también se preguntaron acerca de la eliminación o inclusión de preguntas al cuestionario y sobre comentarios en general acerca de la misma.

Las razones que justifican el empleo de dos cuestionarios, atienden al propio diseño del cuestionario inicial original, porque este incluía preguntas tipo filtro. Por pregunta filtro se entiende que son las “que se formulan con anterioridad a otra (u otras), con la finalidad de eliminar a los sujetos a los que no procede hacer la pregunta siguiente” (Cea D’Ancona, 2004). Esto condicionaba la aparición en pantalla de unas u otras preguntas del cuestionario, según fuera contestada la pregunta filtro, por lo tanto, si no se establecía un protocolo a la hora de marcar las respuestas, ocurría que el experto no podría visualizar en pantalla todas las preguntas de la encuesta para así poder realizar sus observaciones.

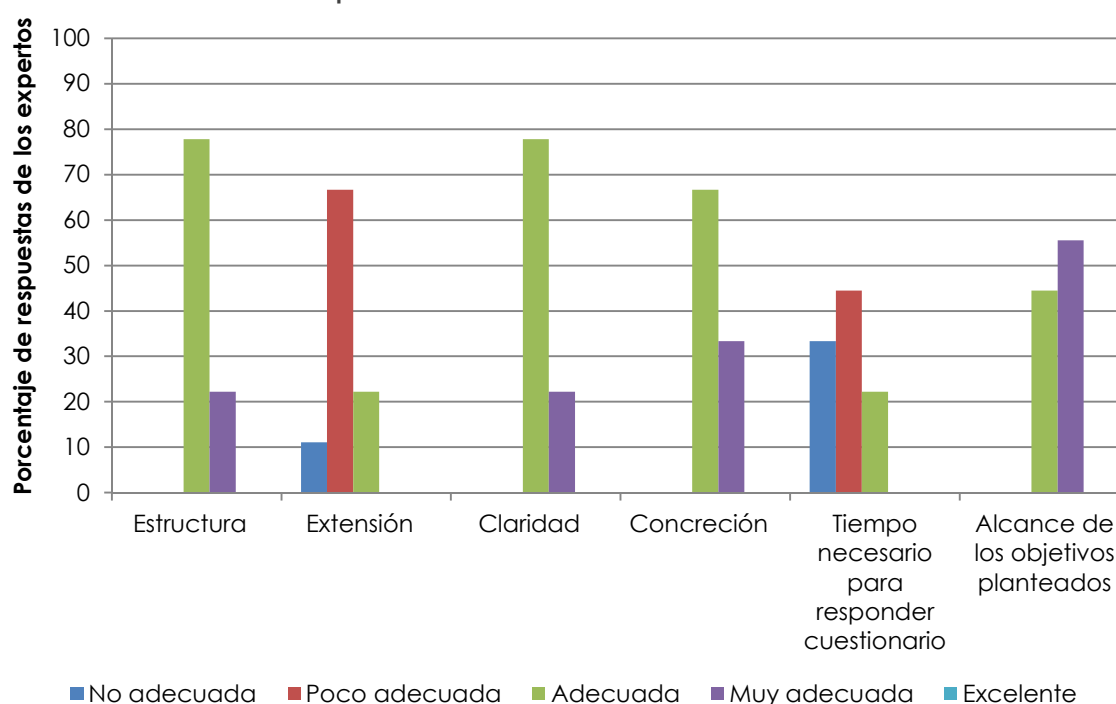
Como justificación complementaria a lo expuesto en el párrafo anterior, debido a que el *Itinerario Negativo* recoge el número mínimo de preguntas que podrá contestar el encuestado y el *Itinerario Positivo* recoge el número máximo de preguntas, al realizar los dos

itinerarios, el experto toma mejor conciencia de la extensión mínima y máxima que puede llegar a tomar el cuestionario.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Los resultados obtenidos en la sección *Valoración* del itinerario negativo se muestran en la Gráfica 10. De la cual se llega a la conclusión que los atributos mejor valorados del cuestionario son la concreción y el alcance de los objetivos planteados, siendo los peores la extensión y el tiempo necesario para responder el cuestionario.

Gráfica 10: Valoración de aspectos cualitativos del cuestionario mediante escala *Likert* de 5 niveles



Fuente: respuestas obtenidas del panel de expertos.

A pesar de que los expertos manifestaron que la encuesta era excesivamente larga, ninguno de ellos sugirió eliminar alguna pregunta en concreto, si no que incluso propusieron aún más preguntas. A continuación se listan los aspectos que recomendaron los expertos a cambiar y mejorar así como los consejos y orientaciones para la investigación:

- No existe normativa específica para nanomateriales, por lo tanto aporta poco el preguntar sobre ella.
- No se aborda el tema de accidentes y su investigación
- Algunas palabras son demasiado técnicas, mejor un vocabulario un poco más llano.
- Las partículas a partir de 100nm no son nanopartículas propiamente dichas
- Puntualmente se pueden manipular de hasta 500 gramos.
- Añadir el intervalo en los tamaños de nanopartícula de entre 6 y 20nm.

- No se conocen de protocolos de emergencia específicos relacionados con nanopartículas.
- En el visionado de algunos menús contextuales, la letra era excesivamente pequeña.
- Respecto a la especificación de la experiencia, sería mejor referirse a la propia con respecto a los nanomateriales, no atendiendo a su puesto actual especialmente.
- Medidas de protección: habitación positiva, mono tipo Tyvek, mascarilla FFP3
- Dar la opción de poder marcar varios tamaños a la vez.
- Incluir la actividad de distribución y comercialización y la de gestión de residuos.
- Incluir sector industrial al que pertenece.
- Preguntar acerca de síntomas que haya manifestado desde que trabaja con nanomateriales.
- No se entiende la expresión de “colocación del producto o material en el destino final (puesta en obra).”
- Añadir pregunta sobre aspectos de la morfología del nanomaterial: fibrosa, elipsoidal, esférica...
- El grupo de componentes no metálicos no se entiende. Si se clasifica atendiendo a los componentes faltarían aún más tipos como por ejemplo los híbridos.
- Poner ejemplos más sencillos a la hora de explicar las dimensiones de los nanomateriales, por ejemplo para estructuras en tres dimensiones, sólo poner partículas esféricas.
- La Sección 2. Nanomateriales es demasiado densa y tampoco reporta información específica que se pueda relacionar con las medidas preventivas.
- Podría ser conveniente abordar temas de gestión preventiva, auditorías de gestión...
- Realizar distintas investigaciones más específicas para obtener más información a los técnicos de prevención, médicos del trabajo...
- Es demasiado larga para contestarla, puede tener bajo índice de respuesta.

5.3 PRE-TEST

Una vez validado el cuestionario por el panel de expertos (cuestionario 0) éste se ha sometido a un pre-test. Para esta etapa se ha contactado con 5 investigadores de la Universidad de Granada que trabajan con nanomateriales, para que realicen el cuestionario.

El objetivo es comprobar la validez del cuestionario, la formulación de las cuestiones y subsanar errores, para de esta forma obtener el *Cuestionario Definitivo* que servirá de base para la recogida de datos necesarios para esta dar solución al problema de investigación. En el momento actual aún no se dispone de todos los datos recogidos en esta etapa. Por tanto se plantea su realización y análisis como continuación del trabajo presentado.

5.4 RESULTADO

El resultado, al cual se ha llegado en esta investigación, ha sido la obtención del Cuestionario 0, el cual se adjunta en el apartado 9.2 CUESTIONARIO 0. Este cuestionario es fruto de una reflexión sobre el estado del conocimiento analizado y de las aportaciones en el proceso de validación del cuestionario, que han sido expuestas en el apartado 5.2.2.1 VALIDACIÓN DEL CUESTIONARIO POR PANEL DE EXPERTOS.

El resultado es un cuestionario más breve y a la misma vez abarcando un amplio conjunto de temas en relación a la prevención. El cuestionario está estructurado en 10 secciones, con un máximo de 33 preguntas y un mínimo de 23 preguntas a contestar.

1/10. DATOS GENERALES: con 8 preguntas a responder.

2/10. NANOMATERIALES: con 4 preguntas a responder.

3/10. SALUD LABORAL: con 3 preguntas a responder como máximo y 2 como mínimo.

4/10. INFORMACIÓN Y FORMACIÓN: con 3 preguntas a responder como máximo y 1 como mínimo.

5/10. CONSULTA Y PARTICIPACIÓN: con 1 pregunta a responder.

6/10. MEDIDAS DE CONTROL TÉCNICAS COLECTIVAS: con 1 pregunta a responder.

7/10. BUENAS PRÁCTICAS EN EL TRABAJO: con 7 preguntas a responder como máximo y 4 como mínimo.

8/10. PROTECCIONES INDIVIDUALES: con 2 preguntas a responder como máximo y 1 como mínimo.

9/10. EVALUACIONES Y MEDICIONES HIGIÉNICAS: con 2 preguntas a responder como máximo y 1 como mínimo.

10/10. ACCIDENTES: con 2 preguntas a responder como máximo y 1 como mínimo.

Sigue manteniendo el mismo diseño que el borrador del cuestionario y la tipología de las preguntas.

6 CONCLUSIONES

La primera conclusión de esta investigación corresponde al objetivo general de la misma, por tanto se presenta un cuestionario, validado por un panel de expertos, que permitirá explorar las prácticas actuales en materia preventiva de los trabajadores que están expuestos a nanopartículas en su trabajo.

En cuanto al Objetivo 1, relativo al conocimiento de los nanomateriales, comprobamos que se presentan en el mercado con un próspero crecimiento económico en el futuro, sin embargo aún existe incertidumbre sobre qué productos comercializados incorporan nanomateriales y cuáles no. La nanotecnología se presenta como una tecnología límite con múltiples aplicaciones.

En cuanto al **Objetivo 2**, se evidencia la relación existente entre salud y la exposición a nanomateriales en el trabajo. Los beneficios que reporta la nanotecnología son bien conocidos a diferencia de los potenciales riesgos para la salud que pueden entrañar, ya que aún existen lagunas y contradicciones en el conocimiento de sus propiedades toxicológicas.

Se pone de manifiesto el amplio desconocimiento del público en general sobre la nanotecnología y la inexistencia de un marco regulatorio que rijan este campo, sólo orientaciones y protocolos de guía.

Por otro lado, no es suficiente ni adecuado el conocimiento actual sobre los aspectos que se ven involucrados en las exposiciones de los trabajadores a nanomateriales. Como son las rutas de exposición, la identificación de los escenarios donde los trabajadores están expuestos a nanomateriales, los valores límites de exposición y biológicos, el ciclo de vida de los nanomateriales, o el transporte y metabolismo de los nanomateriales en el cuerpo. Como consecuencia la prevención que se realiza con respecto a los nanomateriales está acorde con la incertidumbre que antes se ha mencionado, sin embargo como alternativa se están realizando otras metodologías aproximadas

En el caso de los **Objetivos 3, 4, 5, 6 7 y 8 se diseña la encuesta que se muestra en el anexo....con el que se** descubre la información y formación divulgada para trabajar con nanomateriales se averigua la participación en materia preventiva relacionada con los nanomateriales se identifican las medidas de control de la exposición a nanomateriales, se comprueban la consideración del riesgo por exposición a nanomateriales en el trabajo en las Evaluaciones de Riesgos Laborales, se verifica la realización de mediciones higiénicas de nanomateriales, se constata la investigación de accidentes relacionados con nanomateriales.

7 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Una vez concluida la presente investigación, se enuncian los aspectos que sin ser objetos de la presente han apareciendo a lo largo de la misma y se presentan como futuras líneas abiertas de investigación:

- Continuar con el segundo ciclo de la investigación:

Este consiste en completar el marco muestral con la relación nominativa de los trabajadores pertenecientes a los grupos: tejido empresarial y Centros Tecnológicos, teniendo en cuenta otras redes como RENAC, Red Gallega de Nanomedicina, Bioaratec, Biocat, Biobasque, NanoYou y plataformas como Plataforma Química Sostenible.

Completar la etapa del pretest. Analizando los resultados y modificando en caso necesario el Cuestionario 0 para obtener así el Cuestionario Definitivo.

El siguiente paso sería realizar el proceso de muestreo aleatorio, tomar la muestra y enviar el cuestionario a los individuos seleccionados. Y por último la investigación finalizaría con el análisis de los resultados obtenidos de los cuestionarios comprobando las hipótesis que ya fueron propuestas en el apartado 3.3 HIPÓTESIS DE ESTUDIO.

- Estudiar las medidas de protección y prevención in situ llevadas a cabo por los trabajadores expuestos a nanomateriales.

Comprobar in situ si se está produciendo realmente un traslado de los hallazgos al entorno laboral, de la investigación y el conocimiento sobre la prevención en el campo de la nanotecnología. Esta línea se podría focalizar al sector de la construcción.

- Gestión de la prevención de la actividad relacionada con nanomateriales.

Estudiar cómo se gestiona la prevención, es decir explorar cómo actúan los servicios de prevención en este campo. Si se realizan auditorías y demás procedimientos de gestión.

- La nanotecnología en la construcción: limitaciones de su impulso, aplicaciones y prevención de riesgos laborales.

Estudiar las aplicaciones en profundidad de la nanotecnología en la construcción, observar las razones de su lento impulso en el sector comercial así como estudiar de qué forma se aplican las medidas preventivas y de protección a la hora de trabajar con productos con nanomateriales.

- Residuos con nanomateriales.

Profundizar en el conocimiento sobre el tratamiento de los residuos con nanomateriales y su destino (reutilización, reciclaje o eliminación).

- Estudio del Ciclo de vida de los nanomateriales.
- Analizar todo el ciclo de vida de los productos con nanomateriales, desde su producción hasta el fin de su vida útil, teniendo en cuenta los aspectos medio ambientales y de seguridad y salud.

8 REFERENCIAS

- AC/UNU Millennium Project. (2004). Environmental pollution and health hazards resulting from military uses of nanotechnology.
- ACGIH. (2007). Industrial ventilation: A manual of recommended practice for design. 26th ed. *American Congress of Governmental Industrial Hygienists*.
- Adesina, A. A. (2004). Industrial exploitation of photocatalysis: Progress, perspectives and prospects. *Catalysis Surveys from Asia*, 8(4), 265-273. doi:10.1007/s10563-004-9117-0
- Adlakha-Hutcheon, G., Khaydarov, R., Korenstein, R., Varma, R., Vaseashta, A., Stamm, H., & Abdel-Mottaleb, M. (2009). NANOMATERIALS, NANOTECHNOLOGY applications, consumer products, and benefits. *Nanomaterials: Risks and Benefits*, , 195-207. doi:10.1007/978-1-4020-9491-0_14
- Agencia de desarrollo empresarial del Gobierno Vasco (SPRI). (2013). Grupo SPRI. Retrieved 6/3, 2013, from http://www.spri.es/wNS/internacionalizacion/proyectos/3_Tecnolog%C3%ADa/I_I+D/Ce ntros%20de%20Investigacion%20Cooperativa.pdf
- Alshatwi, A. A., Subbarayan, P. V., Ramesh, E., Al-Hazzani, A. A., Alsaif, M. A., & Alwarthan, A. A. (2013). Aluminium oxide nanoparticles induce mitochondrial-mediated oxidative stress and alter the expression of antioxidant enzymes in human mesenchymal stem cells. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 30(1), 1-10.
- Alvarez-Román, R., Naik, A., Kalra, Y. N., Guy, R. H., & Fessi, H. (2004). Skin penetration and distribution of polymeric nanoparticles. *Journal of Controlled Release*, 99(1), 53-62.
- Andriessen, J. H. T. H. (1978). Safe behaviour and safety motivation. *Journal of Occupational Accidents*, 1, 363-376.
- ANEC, & BEUC. (2010). ANEC/BEUC inventory of products claiming to contain nanoparticles available on the EU market. Retrieved 26/7, 2013, from <http://docshare.beuc.org/Common/GetFile.asp?ID=30511&mfd=off&LogonName=Guest en>
- Asociación Española de Normalización (AENOR). (2010). UNE-CEN ISO/TS 27687: Nanotecnologías. terminología y definiciones para nano-objetos. nanopartícula, nanofibra y nanopláca.
- ATEX atmósferas explosivas. (2013). Normativa ATEX. Retrieved 8/3, 2013, from <http://www.atmosferasexplosivas.com/normativaatex.html>
- Baker, E. L., & Matte, T. P. (2005). *Occupational health surveillance*. in: Rosenstock L, cullen E, brodtkin R (eds). *textbook of clinical occupational and environmental medicine*. Philadelphia: PA: Elsevier Saunders Company.
- Balas, F., Arruebo, M., Urrutia, J., & Santamaria, J. (2010). Reported nanosafety practices in research laboratories worldwide. *Nature Nanotechnology*, 5(2), 93-96. doi:10.1038/nnano.2010.1
- Baroli, B., Ennas, M. G., Loffredo, F., Isola, M., Pinna, R., & López-Quintela, M. A. (2007). Penetration of metallic nanoparticles in human full-thickness skin. *Journal of Investigative Dermatology*, 127(7), 1701-1712.
- Barry, B. W. (2001). Novel mechanisms and devices to enable successful transdermal drug delivery. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 14(2), 101-114.

- Bartos, P. J. M. (2009). In Bittnar, Z Bartos, PJM Nemecek, J Smilauer, V Zeman,J. (Ed.), *Nanotechnology in construction: A roadmap for development* doi:10.1007/978-3-642-00980-8_2
- Beck, H., Glienke, N., & Mohlmann, C. (1997). Combustion and explosion characteristics of dusts. *BIA-Report 13/97*,
- Bergamaschi, E. (2009). Occupational exposure to nanomaterials: Present knowledge and future development. *Nanotoxicology*, 3(3), 194-201.
- Binning, G., Rohrer, H., Gerber, C., & Weibel, E. (1982). Surface studies by scanning tunneling microscopy. *Physical Review Letters*, 49(1), 57-61.
- BioNanoMed Catalunya. (2013). ¿Qué es? Retrieved 5/23, 2013, from <http://www.bionanomedcat.org/index.html>
- Bissel, A., Crossley, A., Dien, J. M., Dobson, P., Klepping, T., Vignes, A., . . . Wong, K. (2008). *What about explosivity and flammability of nanopowders? safety parameter characterisation techniques for nanoparticles*. NANOSAFE). *Safe Production and use of Nanomaterials*,
- Biswas, P., & Wu, C. Y. (2005). 2005 critical review: Nanoparticles and the environment. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55(6), 708-746.
- Boje, D. M., & Murnighan, J. K. (1982). Group confidence pressures decisions. *Manage Science*, 28(1), 1187-1196.
- Borm, P. J. A., Robbins, D., Haubold, S., Kuhlbusch, T., Fissan, H., Donaldson, K., . . . Oberdorster, E. (2006). The potential risks of nanomaterials: A review carried out for ECETOC. *Particle and Fibre Toxicology*, 3, 11-11. doi:10.1186/1743-8977-3-11
- Bostrom, N. (2002). Existential risks: Analyzing human extinction scenarios and related hazards. *Journal of Evolution and Technology*, 9(1)
- Bostrom, N. (2003). The transhumanist FAQ – A general introduction – version 2.1. Retrieved 8/10, 2013, from <http://www.transhumanism.org/resources/FAQv21.pdf>
- Boutou-Kempf, O. (2010). *Feasibility of an epidemiological surveillance system for workers occupationally exposed to engineered nanomaterials*. French Institute for Public Health Surveillance).
- Bouwmeester, H., Dekkers, S., Noordam, M. Y., Hagens, W. I., Bulder, A. S., de Heer, C., . . . Sips, A. J. A. M. (2009). Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 53(1), 52-62. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.yrtph.2008.10.008>
- British Standards Institution (BSI). (2007). PD 6699-2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials.
- Brockhoff, K. (1975). The performance of forecasting groups in computer dialogue and face-to-face discussion. *The Delphi Method: Techniques and Applications*, , 291-321.
- Broekhuizen, F. V. (2012). *Los nanomateriales en el sector del mueble. situación en el año 2012. sipnosis*. IVAM Research and consultancy on Sustainability IVAM UvB BV).
- Brun, E., Op de Beeck, R., Van Herpe, S., Isotalo, L., Laamanen, I., Blotière, C., . . . Solans, X. (2008). *European risk observatory report - expert forecast on emerging chemical risks related to occupational safety and health*. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Burri, R. V., & Bellucci, S. (2008). Public perception of nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 10(3), 387-391. doi:10.1007/s11051-007-9286-7
- Cea D'Ancona, M. Á. (2004). *Métodos de encuesta. teoría y práctica, errores y mejora*. (Primera edición ed.). Vallehermoso, Madrid: Editorial Síntesis, S.A.

- Cedervall, T., Lynch, I., Foy, M., Berggard, T., Donnelly, S. C., Cagney, G., . . . Dawson, K. A. (2007). Detailed identification of plasma proteins adsorbed on copolymer nanoparticles. *Angewandte Chemie-International Edition*, 46(30), 5754-5756. doi:10.1002/anie.200700465
- Cedervall, T., Lynch, I., Lindman, S., Berggard, T., Thulin, E., Nilsson, H., . . . Linse, S. (2007). Understanding the nanoparticle-protein corona using methods to quantify exchange rates and affinities of proteins for nanoparticles. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(7), 2050-2055. doi:10.1073/pnas.0608582104
- Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN). (2013). Quiénes somos. Retrieved 5/22, 2013, from <http://www.ciber-bbn.es/es/quienes-somos>
- Centro de Servicios de Informática y Redes de Comunicaciones de la Universidad de Granada (CSIRC). (a). Gestión de encuestas y tests. Retrieved 5/24, 2013, from <http://csirc.ugr.es/informatica/ServiciosCorporativos/limesurvey.html>
- Centro de Servicios de Informática y Redes de Comunicaciones de la Universidad de Granada (CSIRC). (b). Manual de administración y uso plataforma LimeSurvey. versión 5. Retrieved 5/24, 2013, from http://csirc.ugr.es/informatica/Galerias/OtrosFicheros/manualLimeSurvey_CSIRC_v5.pdf
- Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI). (2007). VI programa marco de I+D (2003-2006): Análisis y resultados de la participación española. Retrieved 8/7, 2013, from http://www.cdti.es/recursos/doc/Programas/Cooperacion_internacional/P.Marco_I%20D_de_la_UE/40982_17101710200794412.pdf
- Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI). (2012). Resultados provisionales de la participación española en el VII PM (2007-2012). Retrieved 8/7, 2013, from http://www.cdti.es/recursos/doc/Programas/Cooperacion_internacional/P.Marco_I%20D_de_la_UE/10361_181218122012103025.pdf
- Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). (2013). Unidad de vigilancia de la salud y medicina del trabajo CSIC (madrid). Retrieved 9/1, 2013, from http://www.icb.csic.es/fileadmin/formacionOfertas/unidad_de_vigilancia_de_salud_laboral.pdf
- Chang, M. C. O., Chow, J. C., Watson, J. G., Hopke, P. K., Yi, S. M., & England, G. C. (2004). Measurement of ultrafine particle size distributions from coal-, oil-, and gas-fired stationary combustion sources. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 54(12), 1494-1505.
- Chemicals Stakeholder Forum. (2004). Criteria for concern of the chemicals stakeholder forum. Retrieved 8/28, 2013, from <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20130123162956/http://www.defra.gov.uk/environment/chemicals/csf/criteria.htm>
- Chen, H. T., Neerman, M. F., Parrish, A. R., & Simanek, E. E. (2004). Cytotoxicity, hemolysis, and acute in vivo toxicity of dendrimers based on melamine, candidate vehicles for drug delivery. *Journal of the American Chemical Society*, 126(32), 10044-10048.
- Chen, Y., Chen, J., Dong, J., & Jin, Y. (2004). Comparing study of the effect of nanosized silicon dioxide and micro-sized silicon dioxide on fibrogenesis in rats. *Toxicology and Industrial Health*, 20(1-5), 21-27. doi:10.1191/0748233704th190oa
- Cheng, T., Lin, Y., Li, Y., & Chou, G. (2009). The risk perception of nanotechnology in taiwanese general population, workers, and experts. *Epidemiology*, 20(6), S227-S227.
- CIPR - Commission Internationale pour la protection Radiobiologique. (1994). Publication 66: Human respiratory tract model for radiological protection. 24(1-3), 482.

- Clift, M. J. D., Gehr, P., & Rothen-Rutishauser, B. (2011). Nanotoxicology: A perspective and discussion of whether or not in vitro testing is a valid alternative. *Archives of Toxicology*, 85(7), 723-731.
- Cobb, M. D., & Macoubrie, J. (2004). Public perceptions about nanotechnology: Risks, benefits and trust. *Journal of Nanoparticle Research*, 6(4), 395-405. doi:10.1007/s11051-004-3394-4
- Committee ES. (2011). Guidance on the risk assessment of the application of nanoscience and nanotechnologies in the food and feed chain. *EFSA Journal*, 9, 2140-2176.
- Conti, J. A., Killpack, K., Gerritzen, G., Huang, L., Mircheva, M., Delmas, M., . . . Holden, P. A. (2008). Health and safety practices in the nanomaterials workplace: Results from an international survey. *Environmental Science & Technology*, 42(9), 3155-3162. doi:10.1021/es702158q
- Cormick, C. (2009). Why do we need to know what the public thinks about nanotechnology. *Nanoethics*, 3, 167-173.
- Crosera, M., Bovenzi, M., Maina, G., Adami, G., Zanette, C., Florio, C., & Larese, F. F. (2009). Nanoparticle dermal absorption and toxicity: A review of the literature. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 82(9), 1043-1055. doi:10.1007/s00420-009-0458-x
- Currall, S. C. (2009). New insights into public perceptions. *Nature Nanotechnology*, 4, 79-80.
- Cushing, B. L., Kolesnichenko, V. L., & O'Connor, C. J. (2004). Recent advantages in the liquid-phase syntheses of inorganic nanoparticles. *Chemical Reviews*, 104, 3893-3946.
- Dailey, L. A., Jekel, N., Fink, L., Gessler, T., Schmehl, T., Wittmar, M., . . . Seeger, W. (2006). Investigation of the proinflammatory potential of biodegradable nanoparticle drug delivery systems in the lung. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 215(1), 100-108.
- Darlington, T. K., Neigh, A. M., Spencer, M. T., Nguyen, O. T., & Oldenburg, S. J. (2009). Nanoparticle characteristics affecting environmental fate and transport through soil. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28(6), 1191-1199.
- Datta, K. (2006). Current knowledge about nanotechnology safety. *2006 Proceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Vols 1 and 2, , 70-74.
- Daughton, C. G. (2004). Non-regulated water contaminants: Emerging research. *Environmental Impact Assessment Review*, 24(7-8), 711-732.
- Davies, J. C. (2006). Managing the effects of nanotechnology.
- Dawson, N. G. (2008). Sweating the small stuff: Environmental risk and nanotechnology. *Bioscience*, 58(8), 690-690. doi:10.1641/B580805
- Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland. (2013). Nanoprodukt Datenbank. Retrieved 7/26, 2013, from http://www.bund.net/nc/themen_und_projekte/nanotechnologie/nanoprodukt Datenbank/produktsuche/
- Deutscher Bundestag, D. (2008). *Bericht des ausschusses für bildung, forschung und technikfolgenabschätzung, technikfolgenabschätzung (TA) - TA-zukunftsreport: Arbeiten in der zukunft – strukturen und trends der industriearbeit.*
- Dietz, T., & Stern, P. (2008). Public participation in environmental assessment and decision making. *National Academic Press*,
- Donaldson, K., Tran, L., Jimenez, L. A., Duffin, R., Newby, D. E., Mills, N., . . . Stone, V. (2005). Combustion-derived nanoparticles: A review of their toxicology following inhalation exposure. *Particle and Fibre Toxicology*, 2

- Douglas, M., & Wildavsky, A. B. (1982). *Risk and culture : An essay on the selection of technical and environmental dangers*. Berkeley: University of California press.
- Drexler, K. E. (1986). *Engines of creation: The coming era of nanotechnology*. New York: Random House.
- Drexler, K. E. (1981). Molecular engineering - an approach to the development of general capabilities for molecular manipulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America-Physical Sciences*, 78(9), 5275-5278. doi:10.1073/pnas.78.9.5275
- Duncan, R., & Izzo, L. (2005). Dendrimer biocompatibility and toxicity. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 57(15), 2215-2237. doi:10.1016/j.addr.2005.09.019
- Dusinska, M., Magdolenova, Z., & Fjellsbo, L. M. (2013). Toxicological aspects for nanomaterial in humans. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.)*, 948, 1-12. doi:10.1007/978-1-62703-140-0_1
- Engeman, C. D., Baumgartner, L., Carr, B. M., Fish, A. M., Meyerhofer, J. D., Satterfield, T. A., . . . Harthorn, B. H. (2012). Governance implications of nanomaterials companies' inconsistent risk perceptions and safety practices. *Journal of Nanoparticle Research*, 14(3) doi:10.1007/s11051-012-0749-0
- ENRHES. (2011). ENRHES final report. Retrieved 8/7, 2013, from <http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/whats-new/enhres-final-report>
- Europa Press Releases RAPID. (2011). Horizonte 2020. Retrieved 8/5, 2013, from http://europa.eu/rapid/press-release_IP-11-1475_es.htm
- European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). (2013a). *E-fact 73: Nanomaterials in the healthcare sector: Occupational risks and prevention*. Boletines Informativos Electrónicos,
- European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). (2013b). *E-fact 74: Nanomaterials in maintenance work: Occupational risks and prevention*. Boletines Informativos Electrónicos,
- European Chemicals Agency. (2013a). Cerium dioxide. Retrieved 8/7, 2013, from http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-a217355e-db00-127d-e044-00144f67d031/DISS-a217355e-db00-127d-e044-00144f67d031_DISS-a217355e-db00-127d-e044-00144f67d031.html
- European Chemicals Agency. (2013b). Classification and labelling inventory database. Retrieved 7/27, 2013, from <http://echa.europa.eu/web/guest/information-on-chemicals/cl-inventory-database>
- European Chemicals Agency. (2013c). CoRAP list of sustancias. Retrieved 8/2, 2013, from http://echa.europa.eu/web/guest/information-on-chemicals/evaluation/community-rolling-action-plan/corap-table?search_criteria=silicon%20dioxide
- European Chemicals Agency. (2013d). Graphite. Retrieved 8/6, 2013, from http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-abda73cd-a2cd-3801-e044-00144f67d249/DISS-abda73cd-a2cd-3801-e044-00144f67d249_DISS-abda73cd-a2cd-3801-e044-00144f67d249.html
- European Chemicals Agency. (2013e). Multi-walled carbon nanotubes (MWCNT), synthetic graphite in tubular shape. Retrieved 8/6, 2013, from http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-b281d1a0-c6d8-5dcf-e044-00144f67d031/DISS-b281d1a0-c6d8-5dcf-e044-00144f67d031_DISS-b281d1a0-c6d8-5dcf-e044-00144f67d031.html#section_1.1
- European Chemicals Agency. (2013f). Nanomateriales. Retrieved 9/2, 2013, from <http://echa.europa.eu/es/chemicals-in-our-life/nanomaterials>

- European Chemicals Agency. (2013g). Silver. Retrieved 9/2, 2013, from [http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-9d92ea78-89c7-2334-e044-00144f67d249_DISS-9d92ea78-89c7-2334-e044-00144f67d249.html](http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-9d92ea78-89c7-2334-e044-00144f67d249/DISS-9d92ea78-89c7-2334-e044-00144f67d249_DISS-9d92ea78-89c7-2334-e044-00144f67d249.html)
- European Chemicals Agency. (2013h). Sobre la agencia. Retrieved 8/7, 2013, from <http://echa.europa.eu/es/about-us>
- European Chemicals Agency. (2013i). Titanium dioxide. Retrieved 8/30, 2013, from [http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-9eaff323-014a-482f-e044-00144f67d031_DISS-9eaff323-014a-482f-e044-00144f67d031.html](http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-9eaff323-014a-482f-e044-00144f67d031/DISS-9eaff323-014a-482f-e044-00144f67d031_DISS-9eaff323-014a-482f-e044-00144f67d031.html)
- European Commission.Results. Retrieved 8/20, 2013, from http://cordis.europa.eu/newsearch/index.cfm?page=resultListGET&combo_orderby=CountryDesc:increasing&allwords=nano&typeEvent=PROJECTS_SEARCH&comboreultperpage=100&formid=form_proj&useraction=advanced_search&controlsession=false
- Commission recommendation of 19 september 2003 concerning the european schedule of occupational diseases, (2003).
- European Commission. (2005a). Evaluation website of the directorates. general devolopment, external relations and EuropaAid. *Evaluation Methods for the European Union's External Assistance*,
- European Commission. (2005b). *Social values, science and technology, Special Eurobarometer*,
- European Commission. (2006a). *Modified opinion (after public consultation) on the appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of nanotechnologies*. Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks (SCENIHR)).
- European Commission. (2006b). *Regulation (EC) no 1907/2006 of the european parliament and of the council of 18 december 2006 concerning the registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals (REACH), establishing a european chemicals agency, amending directive 1999/45/EC and repealing council regulation (EEC) no 793/93 and commission regulation (EC) no 1488/94 as well as council directive 76/769/EEC and commission directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC*. Official Journal of the European Union L 396, , 1-849.
- European Commission. (2006c). *The synthesis report on the public consultation of the SCENIHR opinion on the appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of nanotechnologies*. Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks (SCENIHR)).
- European Commission. (2007). *Opinion on the appropriateness of the risk assessment methodology in accordance with the technical guidance documents for new and existing substances for assessing the risks of nanomaterials*. Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks (SCENIHR)).
- European Commission. (2008). Reglamento (CE) nº 1272/2008, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, DO L 353 de 31.12.2008. *Diario Oficial De La Unión Europea*,
- European Commission. (2010a). *Biotechnology in europe. Special Eurobarometer*,
- European Commission. (2010b). *Towards A strategic nanotechnology action plan 2010-2015. Report on the European Commission's Public Online Consultation*,
- European Commission. (2010c). *Why, to whom, saying what and how? an action-packed roadmap towards a brand new dialogue. Communicating Nanotechnology*,

- European Commission. (2011a). List of materials in the JRC nanomaterials (NM) repository. Retrieved 8/20, 2013, from http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/our_activities/nanotechnology/nanomaterials-repository/list_materials_JRC_rep_oct_2011.pdf
- European Commission. (2011b). *Key enabling technologies. final report*
- European Commission. (2011c). Recomendación de la comisión de 18 de octubre de 2011 relativa a la definición de nanomaterial. *Diario Oficial De La Union Europea*,
- European Commission. (2011d). Seven framework programme (FP7). Retrieved 2013/5, 2013, from http://cordis.europa.eu/fp7/budget_en.html
- European Commission. (2012a). Policies. Retrieved 8/19, 2013, from http://ec.europa.eu/nanotechnology/policies_en.html
- European Commission. (2012b). Segunda revisión de la normativa sobre los nanomateriales., Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo y al Comité Económico y social europeo.
- European Commission. (2012c). *Types and uses of nanomaterials accompanying the communication from the commission to the european parliament, the council and the european economic and social committee on the second regulatory review on nanomaterials. Commission Staff Working Paper*,
- European Commission. (2013a). High-level expert group on key enabling technologies. Retrieved 8/22, 2013, from http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/key_technologies/kets_high_level_group_en.htm
- European Commission. (2013b). *Request for a scientific opinion on nanosilver: Safety, health and environmental effects and role in antimicrobial resistance*. Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks (SCENIHR)).
- European Theoretical Spectroscopy Facility (ETSF). (2013). Home. Retrieved 5/22, 2013, from <http://www.etsf.eu/>
- Fanfair, D., Desai, S. & Kelly, C. (2007). The early history of nanotechnology. Retrieved 7/29, 2013, from <http://cnx.org/content/m14504/latest/>
- Faraday, M. (1857). Experimental relations of gold (and other metals) to light. *Philos. Trans. R. Soc. London*, 147, 145-181. doi:10.1098/RSTL.1857.0011
- Ferin, J., Oberdorster, G., & Penney, D. P. (1992). Pulmonary retention of ultrafine and fine particles in rats. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*, 6(5), 535-542.
- Feynman, R. P. (1960). There's plenty of room at the bottom. *Engineering and Science*, 23(5), 22-36.
- Fineberg, T. (2006). A damascus saber. Retrieved 8/14, 2013, from <http://graphics8.nytimes.com/images/2006/11/28/science/steel.600.jpg>
- Fischer, H. C., & Chan, W. C. W. (2007). Nanotoxicity: The growing need for in vivo study. *Current Opinion in Biotechnology*, 18(6), 565-571. doi:10.1016/j.copbio.2007.11.008
- Fissan, H., Neumann, S., Trampe, A., Pui, D. Y. H., & Shin, W. G. (2007). Rationale and principle of an instrument measuring lung deposited nanoparticle surface area. *Journal of Nanoparticle Research*, 9(1), 53-59. doi:10.1007/s11051-006-9156-8
- Freestone, I., Meeks, N., Sax, M., & Higgitt, C. (2007). The lycurgus cup - A roman nanotechnology. *Gold Bulletin*, 40(4), 270-277.
- Freitas, R. A. J. (1999). *Nanomedicine volume I: Basic capabilities*. Georgetown: Landes Bioscience.

- Friedlander, S. K., & Pui, D. Y. H. (2004). Emerging issues in nanoparticle aerosol science and technology. *Journal of Nanoparticle Research*, 6(2-3), 313-320.
- Fundación Phantoms. (2009). Nanociencia y nanotecnología en España.
- Fundación Phantoms. (2013). About us. Retrieved 5/22, 2013, from <http://www.phantomsnet.net/nanolCT/about.php?project=4>
- Galloway, T. S., Sanger, R. C., Smith, K. L., Fillmann, G., Readman, J. W., Ford, T. E., & Depledge, M. H. (2002). Rapid assessment of marine pollution using multiple biomarkers and chemical immunoassays. *Environmental Science and Technology*, 36(10), 2219-2226.
- Gálvez, V., & Tanarro, C. (2010). *Toxicología de las nanopartículas*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)). *Seguridad Y Salud En El Trabajo*, 56, 6-12.
- Gaskell, G., Ten Eyck, T., Jackson, J., & Veltri, G. (2004). Public attitudes to nanotech in Europe and the United States. *Nature Materials*, 3(8), 499.
- General Conference on Weights and Measures. (1960). Resolution 12. 11th Meeting of the CGPM,
- Generalitat de Catalunya. (2013). Tecnio. Retrieved 5/20/2013, 2013, from <http://www.catalonia.com/es/tecnologia/tecnio.jsp>
- Gerritzen, G., Huang, L., Killpack, K., Murcheva, M., & Conu, J. (2006). A review of current practices in the nanotechnology industry. International Council on Nanotechnology (ICON)).
- Gibbs, L. M., Lamba, F., Stoxmeier, B. C., & Kojola, W. (2012). *General safe practices for working with engineered nanomaterials in research laboratories*. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)).
- Gibson, R., Stacey, N., Drais, E., Wallin, H., & Zatorski, W. (2012). *Risk perception and risk communication with regard to nanomaterials in the workplace*. European Agency for Safety and Health at Work). doi:10.2802/93075
- Gleiter, H. (2000). Nanostructured materials: Basic concepts and microstructure. *Acta Materialia*, 48(1), 1-29. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S1359-6454\(99\)00285-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1359-6454(99)00285-2)
- Glezer, A. M. (2011). Structural classification of nanomaterials. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2011(4), 263-269.
- Gordijn, B. (2005). Nanoethics: From utopian dreams and apocalyptic nightmares towards a more balanced view. *Science and Engineering Ethics*, 11(4), 521-533. doi:10.1007/s11948-005-0024-1
- Grosso, A., Petri-Fink, A., Magrez, A., Riediker, M., & Meyer, T. (2010). Management of nanomaterials safety in research environment. *Particle and Fibre Toxicology*, 7
- Heiden, T. C. K., Dengler, E., Kao, W. J., Heideman, W., & Peterson, R. E. (2007). Developmental toxicity of low generation PAMAM dendrimers in zebrafish. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 225(1), 70-79. doi:10.1016/j.taap.2007.07.009
- Heim, M., Kasper, G., Reischl, G. P., & Gerhart, C. (2004). Performance of a new commercial electrical mobility spectrometer. *Aerosol Science and Technology*, 38, 3-14. doi:10.1080/02786820490519252
- Hervé-Bazin, B. (2007). *Les nanoparticules. un enjeu majeur pour la santé au travail? avis d'experts*. Les Ulis: EDP Sciences.
- Hodgson, J. T., & Jones, R. D. (1985). A mortality study of carbon black workers employed at five United Kingdom factories between 1947 and 1980. *Archives of Environmental Health*, 40(5), 261-268.

- Hoet, P. H. M., Bruske-Hohlfeld, I., & Salata, O. V. (2004). Nanoparticles — known and unknown health risks. *Journal of Nanobiotechnology*,
- Hogan, C. J., Lee, M. H., & Biswas, P. (2004). Capture of viral particles in soft X-ray-enhanced corona systems: Charge distribution and transport characteristics. *Aerosol Science and Technology*, 38(5), 475-486. doi:10.1080/02786820490462183
- Hong, S. P., Bielinska, A. U., Mecke, A., Keszler, B., Beals, J. L., Shi, X. Y., . . . Holl, M. M. B. (2004). Interaction of poly(amidoamine) dendrimers with supported lipid bilayers and cells: Hole formation and the relation to transport. *Bioconjugate Chemistry*, 15(4), 774-782. doi:10.1021/bc049962b
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., Van der Linden, P. J., Dai, X., . . . Johnson, C. A. (2001). *Intergovernmental panel on climate change: Climate change 2001 - the scientific basis*. Cambridge University Press).
- Hughes, J. (2001). The future of death: Cryonics and the telos of liberal individualism. *Journal of Evolution and Technology*, 6
- Humanity Plus. (2013). Version 3.0. FAQ transhumanist. Retrieved 8/26, 2013, from <http://humanityplus.org/philosophy/transhumanist-faq/>
- Hussain, S. M., Hess, K. L., Gearhart, J. M., Geiss, K. T., & Schlager, J. J. (2005). In vitro toxicity of nanoparticles in BRL 3A rat liver cells. *Toxicology in Vitro*, 19(7), 975-983. doi:10.1016/j.tiv.2005.06.034
- Hwang, D., & Bradley, J. (2010). *The recession's ripple effect on nanotech*. Lux Research. Inc.).
- Ibernarn. (2013). Red española de micro y nano sistemas. Retrieved 6/9, 2013, from <http://www.ibernarn.net/>
- IBM. (2010). News releases. Retrieved 8/17, 2013, from <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/29983.wss>
- Iijima, S. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, 354(6348), 56-58.
- Institut de reserche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du travail IRRS Montreal. (2009). Best practices guide to synthetic nanoparticle risk management
- Institute of Occupational Medicine. (2004). *Nanoparticles: An occupational hygiene review*. Health & Safety Executive (HSE)). Research Report 274,
- Instituto de Salud Carlos III (ISCIII). (2013). Noticias y actos. Retrieved 8/6, 2013, from <http://www.isciii.es/ISCIII/es/contenidos/fd-el-instituto/fd-comunicacion/fd-noticias/12-junio-2013-AES-2013.shtml>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (1994). Óxido de aluminio. *Fichas Internacionales De Seguridad Química*, ICSC: 0351
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2003). Poliestireno. *Fichas Internacionales De Seguridad Química*, ICSC: 1043
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2013). Nota técnica de prevención. Retrieved 8/1, 2013, from <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.1f1a3bc79ab34c578c2e8884060961ca/?vgnextoid=52be9cfa6d388110VgnVCM1000000705350aRCRD&vgnextchannel=db2c46a815c83110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD>
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2006). Titanium dioxide (group 2B).93
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2010). *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans - carbon black, titanium dioxide, and talc*. 30

- International Council of Nanotechnology (ICON). (2013). Nano-EHS database analysis tool. Retrieved 8/2, 2013, from <http://icon.rice.edu/report.cfm>
- International Organization for Standardization (ISO). (1999). ISO 3252:1999 powder metallurgy - vocabulary.
- ISO/TR 27628:2007. workplace atmospheres -- ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols -- inhalation exposure characterization and assessment. (2007).
- International Organization for Standardization (ISO). (2008). ISO/TR 12885: Nanotechnologies, health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies.
- ISO TS 8004-1:2010 nanotechnologies - vocabulary - part 1: Core terms, (2011a).
- International Organization for Standardization (ISO). (2011b). ISO TS 8004-4:2011 nanotechnologies - vocabulary - part 4: Nanostructured materials.
- International Organization for Standardization (ISO). (2013). Standards published. Retrieved 7/31, 2013, from <http://www.iso.org/iso/home/search.htm?q=nano&sort=rel&type=simple&published=on>
- Jacquet, F. (2012). *Repérage des salariés potentiellement exposés aux nanoparticules*. Institut national de recherche et de sécurité. *Références En Santé Au Travail*, 132
- Javey, A. (2008). The 2008 kavli prize in nanoscience: Carbon nanotubes. *Acs Nano*, 2(7), 1329-1335. doi:10.1021/nn8003982
- Johnson, A. E., & Fletcher, B. (1996). The effect of operating conditions on fume cupboard containment. *Safety Science*, 24(1), 51-60. doi:10.1016/S0925-7535(96)00068-9
- Jos, A., Pichardo, S., Puerto, M., Sanchez, E., Grilo, A., & Camean, A. M. (2009). Cytotoxicity of carboxylic acid functionalized single wall carbon nanotubes on the human intestinal cell line caco-2. *Toxicology in Vitro*, 23(8), 1491-1496. doi:10.1016/j.tiv.2009.07.001
- Joy, B. (2000). Why the future doesn't need us. *Wired*,
- Kaewamatawong, T., Kawamura, N., Okajima, M., Sawada, M., Morita, T., & Shimada, A. (2005). Acute pulmonary toxicity caused by exposure to colloidal silica: Particle size dependent pathological changes in mice. *Toxicologic Pathology*, 33(7), 743-749. doi:10.1080/01926230500416302
- Kahan, D. M., Braman, D., Slovic, P., Gastil, J., & Cohen, G. (2009). Cultural cognition of the risks and benefits of nanotechnology. *Nature Nanotechnology*, 4(2), 87-90. doi:10.1038/NNANO.2008.341
- Kale, S. N. (2009). *Nanomaterials and their applications in the healthcare. Presentation at IICS-UNIDO SISSA Workshop on Computer Design and Discovery of Potential Drugs for Developing Countries*,
- Kaluza, S., Kleine, J., Orthen, B., Honnert, B., Jankowsha, E., Pietrowski, P., . . . Zugasti, A. (2008). *Workplace exposure to nanoparticles*. European Agency for Safety and Health).
- Kane, A. B., & Hurt, R. H. (2008). Nanotoxicology: The asbestos analogy revisited. *Nature Nanotechnology*, 3(7), 378-379.
- Kasperson, R. E. (1992). In S. Krimsky and D. Golding (Ed.), *The social amplification of risk: Progress in developing a integrative framework*. New York: Praeger.
- Kasperson, R. E., Renn, O., Slovic, P., Brown, H. S., Emel, J., Goble, R., . . . Ratick, S. (1988). The social amplification of risk - a conceptual-framework. *Risk Analysis*, 8(2), 177-187. doi:10.1111/j.1539-6924.1988.tb01168.x
- Kertesz, Z., Szikszai, Z., Gontier, E., Moretto, P., Surleve-Bazeille, J. E., Kiss, B., . . . Kiss, A. Z. (2005). Nuclear microprobe study of TiO₂-penetration in the epidermis of human skin xenografts.

- Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms*, 231, 280-285. doi:10.1016/j.nimb.2005.01.071
- Kim, Y. S., Kim, J. S., Cho, H. S., Rha, D. S., Kim, J. M., Park, J. D., . . . Yu, I. J. (2008). Twenty-eight-day oral toxicity, genotoxicity, and gender-related tissue distribution of silver nanoparticles in sprague-dawley rats. *Inhalation Toxicology*, 20(6), 575-583. doi:10.1080/08958370701874663
- Kiss, B., Biro, T., Czifra, G., Toth, B. I., Kertesz, Z., Szikszai, Z., . . . Hunyadi, J. (2008). Investigation of micronized titanium dioxide penetration in human skin xenografts and its effect on cellular functions of human skin-derived cells. *Experimental Dermatology*, 17(8), 659-667. doi:10.1111/j.1600-0625.2007.00683.x
- Kittelson, D. B. (1998). Engines and nanoparticles: A review. *Journal of Aerosol Science*, 29(5-6), 575-588. doi:10.1016/S0021-8502(97)10037-4
- Knoll, A. W., Pires, D., Coulembier, O., Dubois, P., Hedrick, J. L., Frommer, J., & Duerig, U. (2010). Probe-based 3-D nano lithography using self-amplified depolymerization polymers. *Advanced Materials*, 22(31), 3361-+. doi:10.1002/adma.200904386
- Krings, B. J., & Muellner, A. S. (2006). Interactions between new technologies and the job market, flexicurity and training vocational training.
- Kroto, H. W., Heath, J. R., O'Brien, S. C., Curl, R. F., & Smalley, R. E. (1985). C-60 - buckminsterfullerene. *Nature*, 318(6042), 162-163. doi:10.1038/318162a0
- Kulmala, M. (2003). How particles nucleate and grow. *Science*, 302(5647), 1000-1001. doi:10.1126/science.1090848
- Kulmala, M., Vehkamäki, H., Petäjä, T., Dal Maso, M., Lauri, A., Kerminen, V. M., . . . McMurry, P. H. (2004). Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: A review of observations. *Journal of Aerosol Science*, 35(2), 143-176. doi:10.1016/j.jaerosci.2003.10.003
- Lademann, J., Weigmann, H. -, Rickmeyer, C., Barthelmes, H., Schaefer, H., Mueller, G., & Sterry, W. (1999). Penetration of titanium dioxide microparticles in a sunscreen formulation into the horny layer and the follicular orifice. *Skin Pharmacology and Applied Skin Physiology*, 12(5), 247-256.
- Lam, C. -, James, J. T., McCluskey, R., Arepalli, S., & Hunter, R. L. (2006). A review of carbon nanotube toxicity and assessment of potential occupational and environmental health risks. *Critical Reviews in Toxicology*, 36(3), 189-217.
- Landeta R., J. (1999). In Talleres HUROPÉ S. L. (Ed.), *El método delphi* (Primera ed.). Barcelona: EditorialAriel, S.A.
- Lauterwasser, C. (2013). *Small size that matter: Opportunities and risks of nanotechnologies*. Allianz Center for Technology and OECD).
- Li, J. -, Li, W. -, Xu, J. -, Cai, X. -, Liu, R. -, Li, Y. -, . . . Li, Q. -. (2007). Comparative study of pathological lesions induced by multiwalled carbon nanotubes in lungs of mice by intratracheal instillation and inhalation. *Environmental Toxicology*, 22(4), 415-421.
- Li, Q., Mahendra, S., Lyon, D. Y., Brunet, L., Liga, M. V., Li, D., & Alvarez, P. J. J. (2008). Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: Potential applications and implications. *Water Research*, 42(18), 4591-4602. doi:10.1016/j.watres.2008.08.015
- Li, X. Y., Brown, D., Smith, S., MacNee, W., & Donaldson, K. (1999). Short-term inflammatory responses following intratracheal instillation of fine and ultrafine carbon black in rats. *Inhalation Toxicology*, 11(8), 709-731.
- Li, Z., Hulderman, T., Salmen, R., Chapman, R., Leonard, S. S., Young, S. -, . . . Simeonova, P. P. (2007). Cardiovascular effects of pulmonary exposure to single-wall carbon nanotubes. *Environmental Health Perspectives*, 115(3), 377-382.

- Lin Ben-Cheng, Xi Zhu-Ge, Mang Ying-Ge, Mang Hua-Shan, Yang Dan-Feng, Sun Xin, . . . Liu Huan-Liang. (2007). Toxic effects of micro-nano-scale SiO₂ on male rat spermatogenic cells assessed by flow cytometry. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2(3), 322-326.
- Lin, A. C. (2007). Size matters: Regulating nanotechnology.
- Lin, D., & Xing, B. (2007). Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth. *Environmental Pollution*, 150(2), 243-250. doi:10.1016/j.envpol.2007.01.016
- Lin, Y., Cheng, T., & Chou, K. (2008). Man made but woman consumed? gender differences in risk perception of nanotechnology. *Epidemiology*, 19(6), 279.
- Lin, W., Huang, Y. -, Zhou, X. -, & Ma, Y. (2006). Toxicity of cerium oxide nanoparticles in human lung cancer cells. *International Journal of Toxicology*, 25(6), 451-457.
- Lindberg, J., & Quinn, M. (2007). A survey of environmental, health and safety risk management information needs and practices among nanotechnology firms in the massachusetts region. Woodrow Wilson International Center for Scholars).
- Lindberg, H. K., Falck, G. C. -, Suhonen, S., Vippola, M., Vanhala, E., Catalán, J., . . . Norppa, H. (2009). Genotoxicity of nanomaterials: DNA damage and micronuclei induced by carbon nanotubes and graphite nanofibres in human bronchial epithelial cells in vitro. *Toxicology Letters*, 186(3), 166-173.
- Ling, M., Lin, W., Liu, C., Huang, Y., Chueh, M., & Shih, T. (2012). Risk management strategy to increase the safety of workers in the nanomaterials industry. *Journal of Hazardous Materials*, 229, 83-93. doi:10.1016/j.jhazmat.2012.05.073
- Livingstone, D. R. (2001). Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 42(8), 656-666.
- LLeó, J. A. (2012). Proyecto nanosfera. Retrieved 7/27, 2013, from http://nanoosfera.lleo.net/doc/Texto_Nanoosfera.pdf
- López, G. (2012). Aplicación de los nanomateriales en construcción y en tecnología ambiental y sus potenciales efectos sobre la salud humana: Estudio del arte. Universidad de Granada). Trabajo Fin De Máster,
- López, M. (2013). Metodología para el análisis y el control de los costes relacionados con la seguridad y salud en las obras de construcción. Universidad de Granada).
- Lordan, S., & Higginbotham, C. L. (2012). Effect of serum concentration on the cytotoxicity of clay particles. *Cell Biology International*, 36(1), 57-61. doi:10.1042/CBI20100587
- Luther, W. (2004). *Industrial application of nanomaterials – chances and risks, technological analysis* (54th ed.). Düsseldorf, Germany: Future Technologies Division of VDI Technologiezentrum GmbH.
- Luther, W., & Bachmann, G. (2009). *Nano.DE-report 2009. status quo der nanotechnologie in deutschland*. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)).
- M4Nano. (2013). Home. Retrieved 5/22, 2013, from http://www.m4nano.com/m4nanoc_m4/index.php
- Malik, N., Evagorou, E. G., & Duncan, R. (1999). Dendrimer-platinate: A novel approach to cancer chemotherapy. *Anti-Cancer Drugs*, 10(8), 767-776.
- Malik, N., Wiwattanapatapee, R., Klopsch, R., Lorenz, K., Frey, H., Weener, J. W., . . . Duncan, R. (2000). Dendrimers: Relationship between structure and biocompatibility in vitro, and preliminary studies on the biodistribution of I-125-labelled polyamidoamine dendrimers in vivo. *Journal of Controlled Release*, 65(1-2), 133-148. doi:10.1016/S0168-3659(99)00246-1
- Mann, S. (2006). *Nanotechnology and construction*. Nanoforum). European Nanotechnology Gateway,

- Marjamaki, M., Keskinen, J., Chen, D. R., & Pui, D. Y. H. (2000). Performance evaluation of the electrical low-pressure impactor (ELPI). *Journal of Aerosol Science*, 31(2), 249-261. doi:10.1016/S0021-8502(99)00052-X
- Martín, N. (2011). Sobre fullerenos, nanotubos de carbono y grafenos. *Arbor Ciencia, Pensamiento Y Cultura*, , 115-131.
- Max-Planck Institute for Metals Research. (2010). A new european partnership between nanomaterials science & nanotechnology and synchrotron radiation & neutron facilities. *GENNESYS White Paper*,
- Maynard, A. D., & Kuempel, E. D. (2005). Airborne nanostructured particles and occupational health. *Journal of Nanoparticle Research*, 7, 587-614.
- Maynard, A. D., Baron, P. A., Foley, M., Shvedova, A. A., Kisin, E. R., & Castranova, V. (2004). Exposure to carbon nanotube material: Aerosol release during the handling of unrefined single-walled carbon nanotube material. *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part A*, 67(1), 87-107. doi:10.1080/15287390490253688
- Maynard, A. D., & Aitken, R. J. (2007). Assessing exposure to airborne nanomaterials: Current abilities and future requirements. *Nanotoxicology*, 1(1), 26-41. doi:10.1080/17435390701314720
- Mercer, R. R., Scabilloni, J., Wang, L., Kisin, E., Murray, A. R., Schwegler-Berry, D., . . . Castranova, V. (2008). Alteration of deposition pattern and pulmonary response as a result of improved dispersion of aspirated single-walled carbon nanotubes in a mouse model. *American Journal of Physiology - Lung Cellular and Molecular Physiology*, 294(1), L87-L97.
- Ministerio de Ciencia e Innovación. (2009). Real decreto 2093/2008 por el que se regulan los centros tecnológicos y los centros de apoyo a la innovación tecnológica de ámbito estatal y se crea el registro de tales centros. *Boletín Oficial Del Estado*,
- Ministerio de Ciencia e Innovación. (2011). Ley 14/2011, de 1 de junio, de la ciencia, la tecnología y la innovación. *Boletín Oficial Del Estado*,
- Ministerio de Economía y Competitividad de España. (2013a). Noticias. Retrieved 8/7, 2013, from <http://www.idi.mineco.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.edc7f2029a2be27d7010721001432ea0/?vgnnextoid=2ded91f9e1a20410VgnVCM1000001d04140aRCRD&vgnnextchannel=4346846085f90210VgnVCM1000001034e20aRCRD>
- Ministerio de Economía y Competitividad de España. (2013b). Plan estatal de investigación científica, técnica y de innovación (2013-2016).
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (2001). Ley orgánica 6/2001 de universidades. *Boletín Oficial Del Estado*,
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1995). Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales. *Boletín Oficial Del Estado*,
- Mnyusiwalla, A., Daar, A. S., & Singer, P. A. (2003). 'Mind the gap': Science and ethics in nanotechnology. *Nanotechnology*, 14(3), R9-R13. doi:10.1088/0957-4484/14/3/201
- Mohsen, M. S., Jaber, J. O., & Afonso, M. D. (2003). Desalination of brackish water by nanofiltration and reverse osmosis. *Desalination*, 157(1-3), 167-167. doi:10.1016/S0011-9164(03)00397-7
- Moore, J. (2007). *Nanowaste needs attention of EPA, industry and investors*. EurekaAlert.
- Moore, G. E. (1995). In Allen R. (Ed.), *Lithography and the future of moore's law* doi:10.1117/12.210341

- Moore, G. E. (1998). Cramming more components onto integrated circuits (reprinted from electronics, pg 114-117, april 19, 1965). *Proceedings of the IEEE*, 86(1), 82-85. doi:10.1109/JPROC.1998.658762
- Motta, R. J. (2010). The future of photography. *Digital Photography Vi*, 7537, 753702. doi:10.1117/12.854918
- Muller, J., Huaux, F., Fonseca, A., Nagy, J. B., Moreau, N., Delos, M., . . . Lison, D. (2008a). Structural defects play a major role in the acute lung toxicity of multiwall carbon nanotubes: Toxicological aspects. *Chemical Research in Toxicology*, 21(9), 1698-1705.
- Muller, J., Decordier, I., Hoet, P. H., Lombaert, N., Thomassen, L., Huaux, F., . . . Kirsch-Volders, M. (2008b). Clastogenic and aneugenic effects of multi-wall carbon nanotubes in epithelial cells. *Carcinogenesis*, 29(2), 427-433. doi:10.1093/carcin/bgm243
- Musee, N. (2011). Nanowastes and the environment: Potential new waste management paradigm. *Environment International*, 37(1), 112-128. doi:10.1016/j.envint.2010.08.005
- Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y., & Kumar, D. S. (2010). Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science*, 179(3), 154-163. doi:10.1016/j.plantsci.2010.04.012
- Nam, K. T., Kim, D. W., Yoo, P. J., Chiang, C. Y., Meethong, N., Hammond, P. T., . . . Belcher, A. M. (2006). Virus-enabled synthesis and assembly of nanowires for lithium ion battery electrodes. *Science*, 312(5775), 885-888. doi:10.1126/science.1122716
- NanoArt21. (2013). NanoArt21. Retrieved 7/27, 2013, from <http://nanoart21.org/>
- NanoBasque. (2013). NanoBasque una visión de futuro. Retrieved 5/22, 2013, from <http://www.nanobasque.eu/aNBW/web/es/estrategia/index.jsp>
- Nanocyl. (2009). *Responsible care and nanomaterials case study nanocyl*. Praga:
- NANODERM. (2007). Quality of skin as a barrier to ultra-fine particles. final project.QLK4-CT-2002-02678
- NANODEVICE. (2013a). NEW devices for measuring workplace exposure to ENP aerosols. *Nanodevice Results*,
- NANODEVICE. (2013b). Project summary. Retrieved 9/1, 2013, from <http://www.nano-device.eu/index.php?id=123>
- Nanohedron. (2009). Home. Retrieved 7/27, 2013, from <http://www.nanohedron.com/index.html>
- Nanoproducts. (2013). Nanodatenbank nanoproducts.de - the nanotechnology product database. Retrieved 7/20, 2013, from <http://www.nanoproducts.de/>
- NanoSafety Cluster. (a). About the NanoSafety cluster. Retrieved 6/8, 2013, from <http://www.nanosafetycluster.eu/>
- NanoSafety Cluster. (b). Cluster projects. Retrieved 8/6, 2013, from <http://www.nanosafetycluster.eu/eu-nanosafety-cluster-projects/seventh-framework-programme-projects/ennsattox.html>
- NanoSafety Cluster. (c). MARINA. Retrieved 8/7, 2013, from <http://www.nanosafetycluster.eu/eu-nanosafety-cluster-projects/seventh-framework-programme-projects/marina.html>
- NanoSafety Cluster. (d). NanEx. Retrieved 8/7, 2013, from <http://www.nanosafetycluster.eu/eu-nanosafety-cluster-projects/seventh-framework-programme-projects/nanex.html>

- NanoSafety Cluster. (e). Nephh. Retrieved 8/20, 2013, from <http://www.nanosafetycluster.eu/eu-nanosafety-cluster-projects/seventh-framework-programme-projects/nephh.html>
- NanoSafety Cluster. (f). Scaffold. Retrieved 7/8, 2013, from <http://www.nanosafetycluster.eu/eu-nanosafety-cluster-projects/seventh-framework-programme-projects/scaffold.html>
- Nanotech-data.com. (2013). Products. Retrieved 7/28, 2013, from <http://www.nanodaten.de/index2.php?lang=en&plD=87&cat=62>
- Nanotechnology Now. (2013). Cris osfercu. Retrieved 7/27, 2013, from http://www.nanotech-now.com/Art_Gallery/Cris-Orfescu.htm
- Nanovalor. (2013). Home. Retrieved 5/22, 2013, from http://www.nanovalor.org/Homepage_es.html
- Nanowerk. (2013a). Nanomaterial database search. Retrieved 7/26, 2013, from http://www.nanowerk.com/phpscripts/n_dbsearch.php
- Nanowerk. (2013b). Nanotechnology products and applications. Retrieved 7/26, 2013, from <http://www.nanowerk.com/products/products.php>
- Nanowerk. (2013c). Nanowerk – about us. Retrieved 6/9, 2013, from http://www.nanowerk.com/n_about_us.php
- Nasterlack, M., Zober, A., & Oberlinner, C. (2008). Considerations on occupational medical surveillance in employees handling nanoparticles. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 81(6), 721-726. doi:10.1007/s00420-007-0245-5
- National Cancer Institute EEUU. (2013). Understanding nanotechnology. Retrieved 8/11, 2013, from <http://nano.cancer.gov/learn/understanding/>
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2005). Approaches to safe nanotechnology: An information exchange with NIOSH.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2009). *Interim guidance for medical screening and hazard surveillance for workers potentially exposed to engineered nanoparticles*. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention).
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2010). Occupational exposure to carbon nanotubes and nanofibers. *Curr Intell Bull*, 161-A, 1-149.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2011). Occupational exposure to titanium dioxide. *Current Intelligence Bulletin*, 63
- National Nanotechnology Initiative (NNI). (a). Coordination of NNI. Retrieved 8/17, 2013, from <http://www.nano.gov/about-nni/what/coordination>
- National Nanotechnology Initiative (NNI). (b). Nanotechnology timeline. Retrieved 8/19, 2013, from <http://www.nano.gov/timeline>
- Nemmar, A., Hoet, P. H. M., Vanquickenborne, B., Dinsdale, D., Thomeer, M., Hoylaerts, M. F., . . . Nemery, B. (2002). Passage of inhaled particles into the blood circulation in humans. *Circulation*, 105, 411-414.
- NEPHEH'S CONSORTIUM. (2012). Guidelines for responsible management of waste nanomaterials.
- Niwa, Y., Hiura, Y., Murayama, T., Yokode, M., & Iwai, N. (2007). Nano-sized carbon black exposure exacerbates atherosclerosis in LDL-receptor knockout mice. *Circulation Journal*, 71(7), 1157-1161.

- Nobelprize.org. (a). The nobel prize in chemistry in 1996. Retrieved 7/29, 2013, from http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1996/
- Nobelprize.org. (b). Richard P. feynman - facts. Retrieved 8/15, 2013, from http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1965/feynman-facts.html
- Nyamjav, D., & Ivanisevic, A. (2004). Properties of polyelectrolyte templates generated by dip-pen nanolithography and microcontact printing. *Chemistry of Materials*, 16(25), 5216-5219. doi:10.1021/cm049179t
- Oberdörster, E. (2004). Manufactured nanomaterials (fullerenes, C60) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass. *Environmental Health Perspectives*, 112, 1058-1062.
- Oberdörster, G., Oberdörster, E., & Oberdörster, J. (2005a). Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives*, 113, 173-179.
- Oberdorster, G., Cherian, M. G., & Baggs, R. B. (1994). Correlation between cadmium-induced pulmonary carcinogenicity, metallothionein expression, and inflammatory processes - a species comparison. *Environmental Health Perspectives*, 102, 257-263. doi:10.2307/3431797
- Oberdörster, G., Maynard, A., Donaldson, K., Castranova, V., Fitzpatrick, J., Ausman, K., . . . Yang, H. (2005). Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: Elements of a screening strategy. *ILSI Research Foundation/Risk Science Institute Nanomaterial Toxicity Screening Working Group*, 2, 8.
- Oberdörster, G., Oberdörster, E., & Oberdörster, J. (2005b). Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives*, 113(7), 823-839.
- Observatorio Español de I+D+I (ICONO). (2013). Mapa de conocimiento. Retrieved 8/8, 2013, from <http://icono.mapainstituciones.fecyt.es/WebMapaConocimiento/FECYT.MapaDeConocimiento.aspx>
- Observatory NANO. (2010). *Coatings, adhesives and sealants for the transport industry*.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2008). CFR 1910.132. general requirements: Personal protective equipment.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2010). *Introduction to nanomaterials and occupational safety and health*. William Marsh Rice University). SH-21008-10-60-F-48
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2011). Student manual - introduction to nanomaterials and occupational health. *GoodNanoGuide*, SH-21008-10-60-F-48
- Orfescu, C. (2013). NanoArt. Retrieved 7/27, 2013, from <http://www.crisorfescu.com/nanoart.html>
- Organisation for Economic and Co-operation and Development (OECD). (2008). Series on the safety of manufactured nanomaterials.number 6. list of manufactured nanomaterials and list of endpoints for phase one of the OECD testing programme.
- Organisation for Economic and Co-operation and Development (OECD). (2009). *Manual de estadísticas de patentes de la OECD* [OECD Patent Statistics Manual] (OEPM, revisada por Esther Arias Pérez-Illzarbe Trans.). París:
- Organisation for Economic and Co-operation and Development (OECD). (2010). Compilation of nanomaterials exposure mitigation guidelines relating to laboratories. *Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials*, 28

- Organisation for Economic and Co-operation and Development (OECD). (2013a). OECD database on research into safety of manufactured nanomaterials. Retrieved 8/6, 2013, from <http://webnet.oecd.org/NANOMATERIALS/Pagelet/Front/Default.aspx>
- Organisation for Economic and Co-operation and Development (OECD). (2013b). OECD guidelines for the testing of chemicals.
- Organisation for Economic and Co-operation and Development (OECD). (2013c). Patents by technology. Retrieved 8/9, 2013, from http://stats.oecd.org/Index.aspx?DatasetCode=PATS_IPC
- Ostiguy, C., Lapointe, G., Ménard, L., Cloutier, Y., Trottier, M., Boutin, M., . . . Normand, C. (2006). *Nanoparticles: Actual knowledge about occupational health and safety risks and prevention measures*. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST)).
- Ostiguy, C., Roberge, B., Ménard, L., & Endo, C. A. (2009). *Best practices guide to synthetic nanoparticle risk management*. Institut de reserche Robert-Sauvé en Sané et en Sécurité du travail IRRS Montreal). *Studies and Research Projects, REPORT R-599*
- Ostiguy, C., Soucy, B., Lapointe, G., Woods, C., & Ménard, L. (2008). *Health effects of nanoparticles*. Institut national de la recherche scientifique). *REPORT R-589*,
- Parikh, J. (2000). PM 2,5, tapered element oscillatin microbalance procedure. *Air Quality Program*, 42
- Park, E., Kim, H., Kim, Y., Yi, J., Choi, K., & Park, K. (2010). Carbon fullerenes (C60s) can induce inflammatory responses in the lung of mice. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 244(2), 226-233. doi:10.1016/j.taap.2009.12.036
- Park, J., Joo, J., Kwon, S. G., Jang, Y., & Hyeon, T. (2007). Synthesis of monodisperse spherical nanocrystals. *Angewandte Chemie-International Edition*, 46(25), 4630-4660. doi:10.1002/anie.200603148
- Pastoriza-Santos, I., & Liz-Marzan, L. M. (2002). Synthesis of silver nanoprisms in DMF. *Nano Letters*, 2(8), 903-905. doi:10.1021/nl025638i
- Patashnick, H., Meyer, M., & Rogers, B. (2002). *Mine ventilation*. Ontario, Canadá: Kingston.
- Patel, H. A., Somani, R. S., Bajaj, H. C., & Jasra, R. V. (2006). Nanoclays for polymer nanocomposites, paints, inks, greases and cosmetics formulations, drug delivery vehicle and waste water treatment. *Bulletin of Materials Science*, 29(2), 133-145. doi:10.1007/BF02704606
- Pauluhn, J. (2010). Multi-walled carbon nanotubes (baytubes (R)): Approach for derivation of occupational exposure limit. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 57(1), 78-89. doi:10.1016/j.yrtph.2009.12.012
- Petersen, A., & Anderson, A. (2007). Question of balance or blind faith? scientists and science
Policymakers representations of the benefits and risks of nanotechnologies. *NanoEthics*, 1(3), 243-251.
- Pflücker, F., Wendel, V., Hohenberg, H., Gärtner, E., Will, T., Pfeiffer, S., . . . Gers-Barlag, H. (2001). The human stratum corneum layer: An effective barrier against dermal uptake of different forms of topically applied micronised titanium dioxide. *Skin Pharmacology and Applied Skin Physiology*, 14(SUPPL. 1), 92-97.
- Pidgeon, N., Kasperson, R. E., & Slovic, P. (2003). *The social amplification of risk*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Piner, R. D., Zhu, J., Xu, F., Hong, S. H., & Mirkin, C. A. (1999). "Dip-pen" nanolithography. *Science*, 283(5402), 661-663. doi:10.1126/science.283.5402.661

- Plataforma Tecnológica (3NEO). (2013). Presentación. Retrieved 5/22, 2013, from <http://www.3neo.org/3neo/presentacion>
- Plataforma Tecnológica Española de Fotónica (Fotónica21). (2013). Presentación. Retrieved 5/22, 2013, from <http://www.fotonica21.org/fotonica21/presentacion>
- Plataforma Tecnológica Española de Materiales Avanzados y Nanomateriales (MATERPLAT). (2013). Objetivos de la plataforma. Retrieved 5/22, 2013, from http://www.materplat.es/index.php?option=com_content&view=article&id=18&Itemid=19
- Plitzko, S., & Gierke, E. (2007). Tätigkeiten mit nanomaterialien in deutschland – gemeinsamer fragebogen der bundesanstalt für arbeitsschutz und arbeitsmedizin und des verbandes der Chemischen industrie. *Gefahrstoffe – Reinhaltung Der Luft*, 67, 419-424.
- Pokropivny, V. V., & Skorokhod, V. V. (2008). New dimensionality classifications of nanostructures. *Physica E-Low-Dimensional Systems & Nanostructures*, 40(7), 2521-2525. doi:10.1016/j.physe.2007.11.023
- Poland, C. A., Duffin, R., Kinloch, I., Maynard, A., Wallace, W. A. H., Seaton, A., . . . Donaldson, K. (2008). Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nature Nanotechnology*, 3(7), 423-428.
- Poole, C. P., & Owens, F. J. (Eds.). (2007). "Introducción a la nanotecnología" [Introduction to Nanotechnology] (R. Cao Trans.). (Primera ed.). Barcelon (España): Editorial Reverté, S.A.
- Powell, M. C. (2007). New risk or old risk, high risk or no risk? how scientists' standpoints shape their nanotechnology risk frames. *Health Risk & Society*, 9(2), 173-190. doi:10.1080/13698570701306872
- Pritchard, D. K. (2004). Literature review. explosion hazards associated with nanopowders. Retrieved 6/22, 2013, from http://www.hse.gov.uk/research/hsl_pdf/2004/hsl04-12.pdf
- Qaiser, D., Khan, M. S., Singh, R. D., & Khan, Z. H. (2013). Time resolved spectroscopy and gain studies of fullerenes C60 and C70. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 113(0), 400-407. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.saa.2013.04.085>
- Reachcentrum. (2012). Organoclays REACH consortium. Retrieved 9/2, 2013, from <http://www.reachcentrum.eu/consortium/organoclays-reach-consortium-146.html>
- Red Española de Nanotecnología (NanoSpain). (2013a). Home. Retrieved 5/20, 2013, from <http://www.nanospain.org/nanospain.php?p=h>
- Red Española de Nanotecnología (NanoSpain). (2013b). Useful links. Retrieved 5/22, 2013, from http://www.nanospain.org/nanospain_links.php?p=lk
- Red Nanolito. (2013). ¿Qué es la red nanolito? Retrieved 5/22, 2013, from http://www.unizar.es/nanolito/queEs_es.html
- Reibold, M., Paufler, P., Levin, A. A., Kochmann, W., Pätzke, N., & Meyer, D. C. (2006). Materials: Carbon nanotubes in an ancient damascus sabre. *Nature*, 444, 286.
- Ricaud, M., & Witschger, O. (2012). *Les nanomatériaux: Définitions, risques toxicologiques, caractérisation de l'exposition professionnelle et mesures de prevention*. Institut National de Recherche et de Sécurité).
- Rittner, K., Benavente, A., Bompard-Sorlet, A., Heitz, F., Divita, G., Brasseur, R., & Jacobs, E. (2002). New basic membrane-destabilizing peptides for plasmid-based gene delivery in vitro and in vivo. *Molecular Therapy*, 5(2), 104-114. doi:10.1006/mthe.2002.0523
- Roberts, J. C., Bhalgat, M. K., & Zera, R. T. (1996). Preliminary biological evaluation of polyamidoamine (PAMAM) starburst™ dendrimers. *Journal of Biomedical Materials Research*, 30(1), 53-65.

- Roco, M. C., & Bainbridge, W. (2002). In World Technology Evaluation Center (WTEC), Inc (Ed.), *Converging technologies for improving human performance*. Virginia:
- Rodríguez de Prada, A. (1996). *Investigación de accidentes. colección de casos*. Madrid: Ed. Apuntes.
- Rosell, M. G., & Pujol, L. (2008). *Nota técnica de prevención 797: Riesgos asociados a la nanotecnología*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).
- Rouse, J. G., Yang, J., Ryman-Rasmussen, J. P., Barron, A. R., & Monteiro-Riviere, N. A. (2007). Effects of mechanical flexion on the penetration of fullerene amino acid-derivatized peptide nanoparticles through skin. *Nano Letters*, 7(1), 155-160.
- Rowe, G., & Wright, G. (1999). The delphi technique as a forecasting tool: Issues and analysis. *International Journal of Forecasting*, 15(4), 353-375. doi:10.1016/S0169-2070(99)00018-7
- Royal Society and Royal Academy of Engineering. (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: Opportunities and uncertainties*.
- Rozin, P., Spranca, M., Krieger, Z., Neuhaus, R., Surillo, D., Swerdlin, A., & Wood, K. (2004). Preference for natural: Instrumental and ideational/moral motivations, and the contrast between foods and medicines. *Appetite*, 43(2), 147-154. doi:10.1016/j.appet.2004.03.005
- Ruffini Castiglione, M., & Cremonini, R. (2009). Nanoparticles and higher plants. *Caryologia*, 62(2), 161-165.
- Safety Controls S.L. (2013). Mono TYVEK CLASSIC. Retrieved 7/31, 2013, from http://catalogo.safetyconfort.com/product.php?id_product=112
- Santamaria, A. (2012). Historical overview of nanotechnology and nanotoxicology. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.)*, 926, 1-12. doi:10.1007/978-1-62703-002-1_1
- Satterfield, T., Kandlikar, M., Beaudrie, C. E. H., Conti, J., & Harthorn, B. H. (2009). Anticipating the perceived risk of nanotechnologies. *Nature Nanotechnology*, 4(11), 752-758. doi:10.1038/NNANO.2009.265
- Savolainen, K., Alenius, H., Norppa, H., Pylkkanen, L., Tuomi, T., & Kasper, G. (2010). Risk assessment of engineered nanomaterials and nanotechnologies-A review. *Toxicology*, 269(2-3), 92-104. doi:10.1016/j.tox.2010.01.013
- Sayes, C. M., Reed, K. L., & Warheit, D. B. (2007). Assessing toxicology of fine and nanoparticles: Comparing in vitro measurements to in vivo pulmonary toxicity profiles. *Toxicological Sciences*, 97(1), 163-180.
- Scali, A., & Treevor, R. (2013). Nan°art. Retrieved 7/27, 2013, from <http://www.nano.org.uk/files/images/nanoarte-gb.pdf>
- Scheufele, D. A., & Lewenstein, B. V. (2005). The public and nanotechnology: How citizens make sense of emerging technologies. *Journal of Nanoparticle Research*, 7(6), 659-667. doi:10.1007/s11051-005-7526-2
- Scheufele, D. A., Corley, E. A., Dunwoody, S., Shih, T. S., Hillback, E., & Guston, D. H. (2007). Scientists worry about some risks more than the public. *Nature Nanotechnology*, 2(12), 732-734. doi:10.1038/nnano.2007.392
- Scheuplein, R. J. (1967). Mechanism of percutaneous absorption. II. transient diffusion and the relative importance of various routes of skin penetration. *Journal of Investigative Dermatology*, 48(1), 79-88.
- Schuler, E. (2004). *A prospective look at risk communication in the nanotechnology field* Institute for Prospective Technological Studies.
- Schulte, P. A., Trout, D., Zumwalde, R. D., Kuempel, E., Geraci, C. L., Castranova, V., . . . Halperin, W. E. (2008). Options for occupational health surveillance of workers potentially

- exposed to engineered nanoparticles: State of the science. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 50(5), 517-526.
- Schulte, P. A., Schubauer-Berigan, M. K., Mayweather, C., Geraci, C. L., Zumwalde, R., & McKernan, J. L. (2009). Issues in the development of epidemiologic studies of workers exposed to engineered nanoparticles. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 51(3), 323-335. doi:10.1097/JOM.0b013e3181990c2c
- Schulte, P., Geraci, C., Zumwalde, R., Hoover, M., Castranova, V., Kuempel, E., . . . Savolainen, K. (2008). Sharpening the focus on occupational safety and health in nanotechnology. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, 34(6), 471-478.
- Schulte, P., Geraci, C., Zumwalde, R., Hoover, M., & Kuempel, E. (2008). Occupational risk management of engineered nanoparticles. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5(4), 239-249. doi:10.1080/15459620801907840
- Secretaría de Política Sindical de UGT de Catalunya - Salut laboral. (2011). Cuaderno preventivo: La nanotecnología un riesgo emergente. ARA Prevenció,
- Seipenbusch, M., Binder, A., & Kasper, G. (2008). Temporal evolution of nanoparticle aerosols in workplace exposure. *Annals of Occupational Hygiene*, 52(8), 707-716. doi:10.1093/annhyg/men067
- Senjen, R. (2009). *Nanomaterials - health and environmental concerns*. European Environmental Bureau). *Nanotechnologies in the 21th Century*,
- Serena, P. A. (2010). *¿Qué sabemos de? la nanotecnología*. (Primera ed.). Madrid: Los Libros de la Catarata.
- Service, R. F. (2000). Is nanotechnology dangerous? *Science*, 290, 1526-1527.
- Shah, V., & Belozeroval, I. (2009). Influence of metal nanoparticles on the soil microbial community and germination of lettuce seeds. *Water Air and Soil Pollution*, 197(1-4), 143-148. doi:10.1007/s11270-008-9797-6
- Shakesheff, A. J. (2005). Problems and solutions of current manufacture of nanoparticles. Retrieved 9/2, 2013, from http://www.hsl.gov.uk/capabilities/nanosymrep_final.pdf
- Shin, W. G., Pui, D. Y. H., Fissan, H., Neumann, S., & Trampe, A. (2007). Calibration and numerical simulation of nanoparticle surface area monitor (TSI model 3550 NSAM). *Journal of Nanoparticle Research*, 9(1), 61-69. doi:10.1007/s11051-006-9153-y
- Shipman, M. (2010). Hiding risks can hurt public support for nanotechnology. Retrieved 7/31, 2013, from <http://news.ncsu.edu/releases/wmscobbnanorisks/>
- Shumakova, A. A., Tananova, O. N., Arianova, E. A., Maltsev, G. Y., Trushina, E. N., Mustafina, O. K., . . . Khotimchenko, S. A. (2012). Studies of effects of aluminum oxide nanoparticles after intragastric administration. *Voprosy Pitaniia*, 81(6), 54-60.
- Shvedova, A. A., Kisin, E. R., Mercer, R., Murray, A. R., Johnson, V. J., Potapovich, A. I., . . . Baron, P. (2005). Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single-walled carbon nanotubes in mice. *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*, 289(5), L698-L708. doi:10.1152/ajplung.00084.2005
- Shvedova, A. A., Kisin, E. R., Porter, D., Schulte, P., Kagan, V. E., Fadeel, B., & Castranova, V. (2009). Mechanisms of pulmonary toxicity and medical applications of carbon nanotubes: Two faces of janus? *Pharmacology & Therapeutics*, 121(2), 192-204. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.pharmthera.2008.10.009>
- Siegrist, M., Cousin, M., Kastenholz, H., & Wiek, A. (2007). Public acceptance of nanotechnology foods and food packaging: The influence of affect and trust. *Appetite*, 49(2), 459-466. doi:10.1016/j.appet.2007.03.002

- Siegrist, M., Keller, C., Kastenholz, H., Frey, S., & Wiek, A. (2007). Laypeople's and experts' perception of nanotechnology hazards. *Risk Analysis*, 27(1), 59-69. doi:10.1111/j.1539-6924.2006.00859.x
- Siegrist, M., Stampfli, N., Kastenholz, H., & Keller, C. (2008). Perceived risks and perceived benefits of different nanotechnology foods and nanotechnology food packaging. *Appetite*, 51(2), 283-290. doi:10.1016/j.appet.2008.02.020
- Singh, P., & Nanda, A. (2012). Nanotechnology in cosmetics: A boon or bane? *Toxicological and Environmental Chemistry*, 94(8), 1467-1479. doi:10.1080/02772248.2012.723482
- Singh, R., Pantarotto, D., Lacerda, L., Pastorin, G., Klumpp, C., Prato, M., . . . Kostarelos, K. (2006). Tissue biodistribution and blood clearance rates of intravenously administered carbon nanotube radiotracers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(9), 3357-3362. doi:10.1073/pnas.0509009103
- Slovic, P. (2000). *The perception of risk*. London and Sterling, VA). Earthscan,
- Sorahan, T., Hamilton, L., Van Tongeren, M., Gardiner, K., & Malcolm Harrington, J. (2001). A cohort mortality study of U.K. carbon black workers, 1951-1996. *American Journal of Industrial Medicine*, 39(2), 158-170.
- SPMAGE. (2013). International scanning probe microscopy image contest. Retrieved 7/27, 2013, from <http://www.icmm.csic.es/spmage/index.php>
- Stasko, N. A., Johnson, C. B., Schoenfish, M. H., Johnson, T. A., & Holmuhamedov, E. L. (2007). Cytotoxicity of polypropylenimine dendrimer conjugates on cultured endothelial cells. *Biomacromolecules*, 8(12), 3853-3859. doi:10.1021/bm7008203
- Stern, P., & Fineberg, H. (1996). Understanding risk: Informing decisions in a democratic society. *National Academic Press*,
- Stilgoe, J. (2006). Between hype and doom: Keeping an eye on nanotech. *openDemocracy*,
- Sun, Y. G., Gates, B., Mayers, B., & Xia, Y. N. (2002). Crystalline silver nanowires by soft solution processing. *Nano Letters*, 2(2), 165-168. doi:10.1021/nl010093y
- Sun, Y. G., & Xia, Y. N. (2002). Shape-controlled synthesis of gold and silver nanoparticles. *Science*, 298(5601), 2176-2179. doi:10.1126/science.1077229
- Takagi, A., Hirose, A., Nishimura, T., Fukumori, N., Ogata, A., Ohashi, N., . . . Kanno, J. (2008). Induction of mesothelioma in p53+/- mouse by intraperitoneal application of multi-wall carbon nanotube. *Journal of Toxicological Sciences*, 33(1), 105-116.
- Takenaka, S., Karg, E., Roth, C., Schulz, H., Ziesenis, A., Heinzmann, U., . . . Heyder, J. (2001). Pulmonary and systemic distribution of inhaled ultrafine silver particles in rats. *Environmental Health Perspectives*, 109(SUPPL. 4), 547-551.
- Tanarro, C. (2010). *Nota técnica de prevención 877: Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).
- Tanarro, C. (2013). Medición de nanopartículas en ambiente. Retrieved 9/2, 2013, from <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/postersTecnicos/ficheros/Medici%C3%B3n%20de%20nanopart%C3%ADculas%20en%20ambiente.pdf>
- Tanarro, C., & Gálvez, V. (2009). *Nanopartículas: ¿un riesgo pequeño?* Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo). *Seguridad Y Salud En El Trabajo*, 52, 34-43.
- Taniguchi, N. (1974). On the basic concept of nano-technology. In: *Proceedings of the International Conference of Production Engineering*,
- Teo, B. K., & Sun, X. H. (2007). Classification and representations of low-dimensional nanomaterials: Terms and symbols. *Journal of Cluster Science*, 18(2), 346-357.

- The Nanodatabase. (2013a). About us. Retrieved 6/14, 2013, from <http://nano.taenk.dk/about-us>
- The Nanodatabase. (2013b). Welcome to the nanodatabase. Retrieved 6/14, 2013, from <http://nano.taenk.dk/welcome-to-the-database>
- The Nanodatabase. (2013c). Wilson ncode tennis racket. Retrieved 7/27, 2013, from <http://nano.taenk.dk/products?page=1>
- Theodore, L., & Kunz, R. G. (2005). *Nanotechnology: Environmental implications and solutions*. New York: Wiley.
- Trop, M., Novak, M., Rodl, S., Hellbom, B., Kroell, W., & Goessler, W. (2006). Silver-coated dressing acticoat caused raised liver enzymes and argyria-like symptoms in burn patient. *Journal of Trauma - Injury, Infection and Critical Care*, 60(3), 648-652.
- Trouiller, B., Reliene, R., Westbrook, A., Solaimani, P., & Schiestl, R. H. (2009). Titanium dioxide nanoparticles induce DNA damage and genetic instability in vivo in mice. *Cancer Research*, 69(22), 8784-8789. doi:10.1158/0008-5472.CAN-09-2496
- US National Nanotechnology Initiative. (2013). What is nano. Retrieved 8/10, 2013, from <http://www.nano.gov/html/facts/whatIsNano.html>
- Varanasi, P., Fullana, A., & Sidhu, S. (2007). Remediation of PCB contaminated soils using iron nano-particles. *Chemosphere*, 66(6), 1031-1038. doi:10.1016/j.chemosphere.2006.07.036
- Vincent, J. H., & Clement, C. F. (2000). Ultrafine particles in workplace atmospheres. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A-Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 358(1775), 2673-2682.
- Wan, Y., Liu, J., Fu, X., Zhang, X., Meng, F., Yu, X., . . . Liu, J. (2012). Modification of coral-like SnO₂ nanostructures with dense TiO₂ nanoparticles for a self-cleaning gas sensor. *Talanta*, 99(0), 394-403. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2012.05.070>
- Warheit, D. B., Webb, T. R., Colvin, V. L., Reed, K. L., & Sayes, C. R. (2007). Pulmonary bioassay studies with nanoscale and fine-quartz particles in rats: Toxicity is not dependent upon particle size but on surface characteristics. *Toxicological Sciences*, 95(1), 270-280. doi:10.1093/toxsci/kfl128
- Which?. (2008). Small wonder: Nanotechnology in cosmetics.
- Wilcoxon, J. (2009). Optical absorption properties of dispersed gold and silver alloy nanoparticles. *Journal of Physical Chemistry B*, 113(9), 2647-2656. doi:10.1021/jp806930t
- Witschger, O., & Fabriès, J. F. (2005). Particules ultra-fines et santé au travail 1- caractéristiques et effects potentiels sur la santé. *Hygiène Et Sécurité Du Travail - Cahiers De Notes Documentaires - 2e Trimestre*, 199, 21-35.
- Woodrow Wilson Centre. (2013a). The project on emerging nanotechnologies. Retrieved 6/14, 2013, from http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/analysis_draft/
- Woodrow Wilson Centre. (2013b). The project on emerging nanotechnologies. Retrieved 6/14, 2013, from <http://www.nanotechproject.org/iphone/>
- Woodrow Wilson Centre. (2013c). Silver nanodatabase. Retrieved 9/2, 2013, from http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7039/silver_database_fauss_sept2_final.pdf
- Xu, L., Liu, Y., Bai, R., & Chen, C. (2010). Applications and toxicological issues surrounding nanotechnology in the food industry. *Pure and Applied Chemistry*, 82(2), 349-372. doi:10.1351/PAC-CON-09-05-09
- Yang, H., Liu, C., Yang, D., Zhang, H., & Xi, Z. (2009). Comparative study of cytotoxicity, oxidative stress and genotoxicity induced by four typical nanomaterials: The role of

- particle size, shape and composition. *Journal of Applied Toxicology*, 29(1), 69-78. doi:10.1002/jat.1385
- Zalk, D. M., Paik, S. Y., & Swuste, P. (2009). Evaluating the control banding nanotool: A qualitative risk assessment method for controlling nanoparticle exposures. *Journal of Nanoparticle Research*, 11(7), 1685-1704. doi:10.1007/s11051-009-9678-y
- Zevenhoven, R., Axelsen, E. P., Elomaa, M., Kilpinen, P., & Hupa, M. (2003). Final report. finnish national technology agency., 104-109.
- Zheng, L., Hong, F. S., Lu, S. P., & Liu, C. (2005). Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally and growth aged seeds of spinach. *Biological Trace Element Research*, 104(1), 83-91. doi:10.1385/BTER:104:1:083
- Zhou, H., Li, Z., Wu, A., Wei, G., & Liu, Z. (2004). Direct patterning of rhodamine 6G molecules on mica by dip-pen nanolithography. *Applied Surface Science*, 236(1-4), 18-24. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2004.04.012>

9 ANEXOS

9.1 PANEL DE EXPERTOS: CUESTIONARIO ITINERARIO POSITIVO

Observación: En las preguntas en las que aparece un círculo para marcar la respuesta, sólo se podrá marcar una opción. En caso de aparecer un cuadrado, la respuesta puede ser múltiple.

SECCIÓN: 1/11. DATOS GENERALES

1.1 Marque la provincia española en donde desarrolla su principal actividad laboral.

- | | |
|-----------------------------------|--|
| <input type="radio"/> Álava | <input type="radio"/> Huelva |
| <input type="radio"/> Albacete | <input type="radio"/> Huesca |
| <input type="radio"/> Alicante | <input type="radio"/> Islas Baleares |
| <input type="radio"/> Almería | <input type="radio"/> Madrid |
| <input type="radio"/> Asturias | <input type="radio"/> Jaén |
| <input type="radio"/> Ávila | <input type="radio"/> Málaga |
| <input type="radio"/> Badajoz | <input type="radio"/> Melilla |
| <input type="radio"/> Barcelona | <input type="radio"/> Murcia |
| <input type="radio"/> Burgos | <input type="radio"/> Navarra |
| <input type="radio"/> Cáceres | <input type="radio"/> La Coruña |
| <input type="radio"/> Cádiz | <input type="radio"/> La rioja |
| <input type="radio"/> Cantabria | <input type="radio"/> Las palmas |
| <input type="radio"/> Castellón | <input type="radio"/> Lérida |
| <input type="radio"/> Ceuta | <input type="radio"/> León |
| <input type="radio"/> Ciudad real | <input type="radio"/> Lugo |
| <input type="radio"/> Córdoba | <input type="radio"/> Orense |
| <input type="radio"/> Cuenca | <input type="radio"/> Palencia |
| <input type="radio"/> Gerona | <input type="radio"/> Pontevedra |
| <input type="radio"/> Granada | <input type="radio"/> Salamanca |
| <input type="radio"/> Guadalajara | <input type="radio"/> Santa cruz de Tenerife |
| <input type="radio"/> Guipúzcoa | <input type="radio"/> Segovia |

☐ Sevilla

☐ Valencia

☐ Soria

☐ Valladolid

☐ Tarragona

☐ Vizcaya

☐ Teruel

☐ Zamora

☐ Toledo

☐ Zaragoza

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 1.2.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.2 ¿Cuál es su titulación académica de mayor rango?

☐ Educación Secundaria Obligatoria

☐ Formación Profesional Específica de Grado Medio

☐ Formación Profesional Específica de Grado Superior

☐ Bachiller

☐ Licenciado, Ingeniero, Arquitecto

☐ Diplomado, Ingeniero Técnico, Arquitecto Técnico

☐ Graduado Universitario

☐ Máster

☐ Doctorado

☐ NS-NC

☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: Marque cualquier opción excepto “NS-NC” y pase a la pregunta 1.3.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.3 Indique el tipo de organización a la que pertenece.

☐ Centro de Investigación

☐ Centro Tecnológico

☐ Organismo público de investigación (CSIC, CIEMAT, ISCIII...)

☐ Universidad

- ☐ Empresa
- ☐ Fundación
- ☐ NS-NC
- ☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: Marque cualquier opción excepto “NS-NC” y pase a la pregunta 1.4.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.4 ¿De qué tipo de recursos económicos dispone su organización?

- ☐ Recursos públicos
- ☐ Recursos privados
- ☐ Recursos mixtos
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: Marque cualquier opción excepto “NS-NC” y pase a la pregunta 1.5.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.5 ¿Qué actividad relacionada vincula a su organización con los nanomateriales?

- ☐ Fabricación de nanomateriales
- ☐ Incorporación de nanomateriales en productos o materiales
- ☐ Realización de tareas de investigación y desarrollo de nanomateriales
- ☐ Colocación del producto o material en el destino final
- ☐ NS-NC
- ☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: Marque cualquier opción excepto “NS-NC” y pase a la pregunta 1.6.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.6 ¿Cuántos trabajadores hay en total en su organización?*

- ☐ Menos de 10 trabajadores

- ☐ Entre 11 y 49 trabajadores
- ☐ Entre 50 y 249 trabajadores
- ☐ Entre 250 y 499 trabajadores
- ☐ Entre 500 y 1000 trabajadores
- ☐ Más de 1.000 trabajadores
- ☐ NS-NC

*Se refiere al número total de trabajadores en su organización, no sólo de su centro de trabajo.

INSTRUCCIÓN: Marque cualquier opción excepto “NS-NC” y pase a la pregunta 1.7.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.7 ¿Cuántos trabajadores hay en su centro de trabajo que investiguen, manipulen o produzcan nanomateriales?

- ☐ Menos de 10 trabajadores
- ☐ Entre 10 y 49 trabajadores
- ☐ Entre 50 y 249 trabajadores
- ☐ Entre 250 y 500 trabajadores
- ☐ Más de 500 trabajadores
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: Marque cualquier opción excepto “NS-NC” y pase a la pregunta 1.8.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.8 ¿Qué tipo de trabajo desarrolla usted relacionado con los nanomateriales?

- ☐ Investigación
- ☐ Tareas de operario en la cadena de producción
- ☐ Gestión de residuos
- ☐ Mantenimiento de equipos e instalaciones
- ☐ Colocación del producto o material en el destino final (*puesta en obra*)
- ☐ Realización de tareas de Prevención en Seguridad y Salud

☐ Realización de tareas de Control de Calidad

☐ NS-NC

☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: Marque cualquier opción excepto “NS-NC” y pase a la pregunta 1.9.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.9 ¿Cuántos años de experiencia tiene trabajando, en su puesto actual, en el sector de la nanotecnología?

☐ Menos de 1 año

☐ 21

☐ 1

☐ 22

☐ 2

☐ 23

☐ 3

☐ 24

☐ 4

☐ 25

☐ 5

☐ 26

☐ 6

☐ 27

☐ 7

☐ 28

☐ 8

☐ 29

☐ 9

☐ 30

☐ 10

☐ Más de 30 años

☐ 11

☐ 12

☐ 13

☐ 14

☐ 15

☐ 16

☐ 17

☐ 18

☐ 19

☐ 20

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 1.10.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.10 ¿Cuáles son los principales componentes químicos de los nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo?

- ☐ Óxidos metálicos
- ☐ Metales (metales puros o con componentes metálicos, pero no óxidos metálicos)
- ☐ No metálicos (puros no metálicos o sin componentes metálicos)
- ☐ Orgánicos
- ☐ Carbonáceos (carbono)
- ☐ Otros componentes químicos
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: Si marca “Óxidos metálicos” complete las preguntas del grupo de preguntas 2.1 de la sección 2/11. NANOMATERIALES.

Si marca “Metales” complete las preguntas del grupo 2.2 de la sección 2/11. NANOMATERIALES.

Si marca “No metálicos” complete las preguntas del grupo 2.3 de la sección 2/11. NANOMATERIALES.

Si marca “Orgánicos” complete las preguntas del grupo 2.4 de la sección 2/11. NANOMATERIALES.

Si marca “Carbonáceos” complete las preguntas del grupo 2.5 de la sección 2/11. NANOMATERIALES.

Si marca “Otros componentes químicos” complete las preguntas del grupo 2.6 de la sección 2/11. NANOMATERIALES.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 2/11. NANOMATERIALES

2.1 NANOMATERIALES: ÓXIDOS METÁLICOS

Indique el estado en que se encuentran estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo.

- ☐ Nanomateriales en suspensión

- ☐ Nanomateriales en estado sólido y con libertad de movimiento
- ☐ Nanomateriales en estado sólido y fijados o embebidos en matriz sólida o superficie

☐ NS-NC

☐ Otro: _____

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique la cantidad de los nanomateriales que acaba de señalar que puede llegar a manipular en una sola vez.

- ☐ Menos de 1 miligramo
- ☐ Entre 1 y 10 miligramos
- ☐ Entre 11 y 100 miligramos
- ☐ Entre 101 y 999 miligramos
- ☐ Entre 1 y 1000 gramos
- ☐ Más de 1000 gramos
- ☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique el tamaño de estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo.

- ☐ Menor a 1 nm
- ☐ Entre 1 y 5 nm
- ☐ Entre 6 y 20 nm
- ☐ Entre 21 y 50 nm
- ☐ Entre 51 y 100 nm
- ☐ Entre 101 y 300 nm
- ☐ Más de 300 nm
- ☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique las dimensiones de los nanomateriales que acaba de señalar a los que usted está expuesto en su trabajo.

☐ Estructuras con cero dimensiones nanométricas (por ejemplo: quantum dots)

☐ Estructuras con una dimensión nanométricas (por ejemplo: estructuras para recubrimientos de superficies/capas)

☐ Estructuras con dos dimensiones nanométricas (por ejemplo: nanotubos o nanohilos)

☐ Estructuras con tres dimensiones nanométricas (por ejemplo: nanocristales o fullerenos)

☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique durante cuántas horas está expuesto a los nanomateriales que ha señalado antes*.

☐ Al día _____

☐ A la semana _____

☐ Al mes _____

☐ NS-NC _____

**Marque la opción que corresponda y, a continuación, escriba el número de horas.*

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

2.2 NANOMATERIALES: METALES

Indique el estado en que se encuentran estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo.

☐ Nanomateriales en suspensión

☐ Nanomateriales en estado sólido y con libertad de movimiento

☐ Nanomateriales en estado sólido y fijados o embebidos en matriz sólida o superficie

☐ NS-NC

☐ Otro: _____

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique la cantidad de los nanomateriales que acaba de señalar que puede llegar a manipular en una sola vez.

- ☐ Menos de 1 miligramo
- ☐ Entre 1 y 10 miligramos
- ☐ Entre 11 y 100 miligramos
- ☐ Entre 101 y 999 miligramos
- ☐ Entre 1 y 1000 gramos
- ☐ Más de 1000 gramos
- ☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique el tamaño de estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo.

- ☐ Menor a 1nm
- ☐ Entre 1 y 5 nm
- ☐ Entre 6 y 20 nm
- ☐ Entre 21 y 50 nm
- ☐ Entre 51 y 100 nm
- ☐ Entre 101 y 300 nm
- ☐ Más de 300 nm
- ☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique las dimensiones de los nanomateriales que acaba de señalar a los que usted está expuesto en su trabajo.

- ☐ Estructuras con cero dimensiones nanométricas (por ejemplo: quantum dots)

☐ Estructuras con una dimensión nanométricas (por ejemplo: estructuras para recubrimientos de superficies/capas)

☐ Estructuras con dos dimensiones nanométricas (por ejemplo: nanotubos o nanohilos)

☐ Estructuras con tres dimensiones nanométricas (por ejemplo: nanocristales o fullerenos)

☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique durante cuántas horas está expuesto a los nanomateriales que ha señalado antes*.

☐ Al día _____

☐ A la semana _____

☐ Al mes _____

☐ NS-NC _____

*Marque la opción que corresponda y, a continuación, escriba el número de horas.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

2.3 NANOMATERIALES: NO METÁLICOS

Indique el estado en que se encuentran estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo.

☐ Nanomateriales en suspensión

☐ Nanomateriales en estado sólido y con libertad de movimiento

☐ Nanomateriales en estado sólido y fijados o embebidos en matriz sólida o superficie

☐ NS-NC

☐ Otro: _____

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique la cantidad de los nanomateriales que acaba de señalar que puede llegar a manipular en una sola vez.

- ☐ Menos de 1 miligramo
- ☐ Entre 1 y 10 miligramos
- ☐ Entre 11 y 100 miligramos
- ☐ Entre 101 y 999 miligramos
- ☐ Entre 1 y 1000 gramos
- ☐ Más de 1000 gramos
- ☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique el tamaño de estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo.

- ☐ Menor a 1nm
- ☐ Entre 1 y 5 nm
- ☐ Entre 6 y 20 nm
- ☐ Entre 21 y 50 nm
- ☐ Entre 51 y 100 nm
- ☐ Entre 101 y 300 nm
- ☐ Más de 300 nm
- ☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique las dimensiones de los nanomateriales que acaba de señalar a los que usted está expuesto en su trabajo.

- ☐ Estructuras con cero dimensiones nanométricas (por ejemplo: quantum dots)
- ☐ Estructuras con una dimensión nanométricas (por ejemplo: estructuras para recubrimientos de superficies/capas)
- ☐ Estructuras con dos dimensiones nanométricas (por ejemplo: nanotubos o nanohilos)

☐ Estructuras con tres dimensiones nanométricas (por ejemplo: nanocristales o fullerenos)

☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique durante cuántas horas está expuesto a los nanomateriales que ha señalado antes*.

☐ Al día _____

☐ A la semana _____

☐ Al mes _____

☐ NS-NC _____

*Marque la opción que corresponda y, a continuación, escriba el número de horas.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

2.4 NANOMATERIALES: ORGÁNICOS

Indique el estado en que se encuentran estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo.

☐ Nanomateriales en suspensión

☐ Nanomateriales en estado sólido y con libertad de movimiento

☐ Nanomateriales en estado sólido y fijados o embebidos en matriz sólida o superficie

☐ NS-NC

☐ Otro: _____

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique la cantidad de los nanomateriales que acaba de señalar que puede llegar a manipular en una sola vez.

☐ Menos de 1 miligramo

☐ Entre 1 y 10 miligramos

- ☐ Entre 11 y 100 miligramos
- ☐ Entre 101 y 999 miligramos
- ☐ Entre 1 y 1000 gramos
- ☐ Más de 1000 gramos
- ☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique el tamaño de estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo.

- ☐ Menor a 1nm
- ☐ Entre 1 y 5 nm
- ☐ Entre 6 y 20 nm
- ☐ Entre 21 y 50 nm
- ☐ Entre 51 y 100 nm
- ☐ Entre 101 y 300 nm
- ☐ Más de 300 nm
- ☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique las dimensiones de los nanomateriales que acaba de señalar a los que usted está expuesto en su trabajo.

- ☐ Estructuras con cero dimensiones nanométricas (por ejemplo: quantum dots)
- ☐ Estructuras con una dimensión nanométricas (por ejemplo: estructuras para recubrimientos de superficies/capas)
- ☐ Estructuras con dos dimensiones nanométricas (por ejemplo: nanotubos o nanohilos)
- ☐ Estructuras con tres dimensiones nanométricas (por ejemplo: nanocristales o fullerenos)
- ☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique durante cuántas horas está expuesto a los nanomateriales que ha señalado antes*.

- ☐ Al día _____
- ☐ A la semana _____
- ☐ Al mes _____
- ☐ NS-NC _____

*Marque la opción que corresponda y, a continuación, escriba el número de horas.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

--

2.5 NANOMATERIALES: CARBONÁCEOS

Indique el estado en que se encuentran estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo.

- ☐ Nanomateriales en suspensión
- ☐ Nanomateriales en estado sólido y con libertad de movimiento
- ☐ Nanomateriales en estado sólido y fijados o embebidos en matriz sólida o superficie
- ☐ NS-NC
- ☐ Otro: _____

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

--

Indique la cantidad de los nanomateriales que acaba de señalar que puede llegar a manipular en una sola vez.

- ☐ Menos de 1 miligramo
- ☐ Entre 1 y 10 miligramos
- ☐ Entre 11 y 100 miligramos
- ☐ Entre 101 y 999 miligramos
- ☐ Entre 1 y 1000 gramos
- ☐ Más de 1000 gramos

☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique el tamaño de estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo.

☐ Menor a 1nm

☐ Entre 1 y 5 nm

☐ Entre 6 y 20 nm

☐ Entre 21 y 50 nm

☐ Entre 51 y 100 nm

☐ Entre 101 y 300 nm

☐ Más de 300 nm

☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique las dimensiones de los nanomateriales que acaba de señalar a los que usted está expuesto en su trabajo.

☐ Estructuras con cero dimensiones nanométricas (por ejemplo: quantum dots)

☐ Estructuras con una dimensión nanométricas (por ejemplo: estructuras para recubrimientos de superficies/capas)

☐ Estructuras con dos dimensiones nanométricas (por ejemplo: nanotubos o nanohilos)

☐ Estructuras con tres dimensiones nanométricas (por ejemplo: nanocristales o fullerenos)

☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique durante cuántas horas está expuesto a los nanomateriales que ha señalado antes*.

☐ Al día _____

☐ A la semana _____

☐ Al mes _____

☐ NS-NC _____

*Marque la opción que corresponda y, a continuación, escriba el número de horas.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

2.6 NANOMATERIALES: OTROS COMPONENTES QUÍMICOS

Indique a qué otros principales componentes químicos de los nanomateriales le consta que usted está expuesto en su trabajo.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique el estado en que se encuentran estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo.

☐ Nanomateriales en suspensión

☐ Nanomateriales en estado sólido y con libertad de movimiento

☐ Nanomateriales en estado sólido y fijados o embebidos en matriz sólida o superficie

☐ NS-NC

☐ Otro: _____

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique la cantidad de los nanomateriales que acaba de señalar que puede llegar a manipular en una sola vez.

☐ Menos de 1 miligramo

☐ Entre 1 y 10 miligramos

☐ Entre 11 y 100 miligramos

☐ Entre 101 y 999 miligramos

☐ Entre 1 y 1000 gramos

☐ Más de 1000 gramos

☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique el tamaño de estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo.

☐ Menor a 1nm

☐ Entre 1 y 5 nm

☐ Entre 6 y 20 nm

☐ Entre 21 y 50 nm

☐ Entre 51 y 100 nm

☐ Entre 101 y 300 nm

☐ Más de 300 nm

☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique las dimensiones de los nanomateriales que acaba de señalar a los que usted está expuesto en su trabajo.

☐ Estructuras con cero dimensiones nanométricas (por ejemplo: quantum dots)

☐ Estructuras con una dimensión nanométricas (por ejemplo: estructuras para recubrimientos de superficies/capas)

☐ Estructuras con dos dimensiones nanométricas (por ejemplo: nanotubos o nanohilos)

☐ Estructuras con tres dimensiones nanométricas (por ejemplo: nanocristales o fullerenos)

☐ NS-NC

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Indique durante cuántas horas está expuesto a los nanomateriales que ha señalado antes*.

- ☐ Al día _____
- ☐ A la semana _____
- ☐ Al mes _____
- ☐ NS-NC _____

*Marque la opción que corresponda y, a continuación, escriba el número de horas.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 3/11. SALUD LABORAL

3.1 ¿Considera que su salud puede verse afectada por trabajar con nanomateriales?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: Marque “Sí” y pase a pregunta 3.2.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

3.2 ¿Cuáles cree que son las vías de entrada de las nanopartículas a su organismo?

- ☐ Vía dérmica (contacto con piel)
- ☐ Vía digestiva (al ingerir)
- ☐ Vía parenteral (por heridas, pinchazos...)
- ☐ Vía respiratoria (al respirar)
- ☐ Por ninguna vía de entrada
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: Marque cualquier opción excepto “NS-NC” y pase a pregunta 3.3.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

3.3 ¿Le han realizado algún reconocimiento médico específico por estar expuesto a nanopartículas?

- ☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: Marque “Sí” y pase a la pregunta 4.1 de la SECCIÓN 4/11. NORMATIVA Y LEGISLACIÓN.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 4/11. NORMATIVA Y LEGISLACIÓN

4.1 ¿Conoce la normativa específica de Prevención de Riesgos Laborales para trabajar con nanomateriales?

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: Marque “Sí” y pase a pregunta 4.1.1.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

4.1.1 ¿Qué tipo de normativa específica de Prevención de Riesgos Laborales para trabajar con nanomateriales conoce?

☐ Notas Técnicas del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

☐ Normas ISO, UNE o EN

☐ Recomendaciones de la Comisión Europea

☐ NS-NC

☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: Marque cualquier opción excepto “NS-NC” y pase a la pregunta 4.1.2.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

4.1.2 ¿Cree que es suficiente la normativa específica de Prevención de Riesgos Laborales existente para trabajar con nanomateriales?

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: Marque “Sí” y pase a la pregunta 5.1 de la SECCIÓN 5/11. INFORMACIÓN Y FORMACIÓN.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 5/11. INFORMACIÓN Y FORMACIÓN

5.1 ¿Ha recibido información y/o formación específica sobre Prevención de Riesgos Laborales para trabajar con nanomateriales?

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: Marque “Sí” y pase a la pregunta 5.1.1.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

5.1.1 Indique qué información y/o formación específica ha recibido sobre Riesgos Laborales en el sector de la nanotecnologías.

☐ Sobre los riesgos que entraña trabajar con nanopartículas

☐ Sobre las medidas preventivas y de protección colectiva

☐ Sobre equipos de protección individual (EPIs)

☐ NS-NC

☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: Marque cualquier opción excepto “NS-NC” y pase a pregunta 5.1.2.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

5.1.2 ¿Recibe periódicamente información y/o formación sobre Prevención de Riesgos Laborales en el sector de las nanotecnologías?

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: Marque “Sí” y pase a pregunta 6.1 de la SECCIÓN 6/11. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE PROTECCIÓN COLECTIVA.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 6/11. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE PROTECCIÓN COLECTIVA

6.1 ¿Le consta que se apliquen en su organización medidas preventivas y/o medidas de protección colectiva específicas para evitar y controlar el riesgo por exposición a nanopartículas?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: Marque "Sí" y pase a pregunta 6.1.1

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

6.1.1 Indique qué medidas preventivas y/o medidas de protección colectiva específicas se aplican en su trabajo para evitar y controlar el riesgo por exposición a nanopartículas.

- ☐ Instalaciones en buen estado y/o seguras
- ☐ Prioridad de utilizar los procesos húmedos frente a los secos
- ☐ Equipos de protección en buen estado
- ☐ Procedimientos de trabajo en circuito cerrado
- ☐ Ventilación mediante extracción localizada
- ☐ Operaciones de limpieza mediante aspiración
- ☐ Ventilación por dilución (disminuir la concentración de una disolución añadiendo aire)
- ☐ NS-NC
- ☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: Marque cualquier opción excepto "NS-NC" y pase a la pregunta 7.1 de la SECCIÓN: 7/11. PROTECCIONES INDIVIDUALES.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 7/11. PROTECCIONES INDIVIDUALES

7.1 ¿Utiliza algún equipo de protección individual (EPI) en su trabajo para protegerse de la exposición a nanopartículas?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: Marque "Sí" y pase a la pregunta 7.1.1.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

7.1.1 Indique qué equipos de protección individual (EPIs) utiliza en su trabajo para protegerse de la exposición a nanopartículas.

Protecciones para el cuerpo.*

- ☐ Guantes de nitrilo
- ☐ Guantes de látex
- ☐ Guantes de neopreno
- ☐ Mono completo de protección
- ☐ Bata de laboratorio (algodón)
- ☐ Uniforme de trabajo
- ☐ Protector de zapatos
- ☐ Manguitos
- ☐ No utiliza protecciones para el cuerpo
- ☐ Utiliza protección para el cuerpo, pero no sabría identificarla
- ☐ Otro: _____

**Protecciones para manos, brazos, abdomen, pies, piernas...*

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Protecciones oculares.

- ☐ Gafas de montura universal (protectores cuyos oculares están acoplados en una montura con patillas)
- ☐ Gafas de montura integral (encierran de manera estanca la región orbital)

- ☐ Pantalla facial
- ☐ No utiliza protecciones para la cara u ojos
- ☐ Utiliza protección ocular y/o facial, pero no sabría identificarla
- ☐ Otro: _____

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

Protecciones para las vías respiratorias.

- ☐ Máscara antipolvo (de algodón, desechable)
- ☐ Mascarilla filtrante (el aire pasa a través de filtros autofiltrantes)
- ☐ No utiliza protecciones para las vías respiratorias
- ☐ Utiliza protección para las vías respiratorias, pero no sabría identificarla
- ☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 8.1 de la SECCIÓN: 8/11. PRÁCTICAS SEGURAS DE TRABAJO.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 8/11. BUENAS PRÁCTICAS EN EL TRABAJO

8.1 Indique qué prácticas realiza para trabajar con nanomateriales.

- ☐ Evitar consumir comida y bebida en el puesto de trabajo
- ☐ Evitar aplicarse productos cosméticos
- ☐ Quitarse la bata antes de acceder a otras áreas de trabajo
- ☐ Lavarse las manos antes de comer y al dejar el puesto de trabajo
- ☐ Ducharse y cambiarse de ropa al final de la jornada laboral
- ☐ Evitar tocarse la cara u otras partes expuestas con los dedos contaminados
- ☐ Limpiar el área de trabajo con sistemas de aspiración con filtros HEPA
- ☐ Limpiar el área de trabajo con sistemas de barrido húmedo
- ☐ No realizo ninguna práctica segura en particular para trabajar con nanomateriales
- ☐ NS-NC

☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: Marque cualquier opción excepto "NS-NC" y pase a la pregunta 9.1 de la SECCIÓN: 9/11. EVALUACIONES Y MEDICIONES HIGIÉNICAS.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 9/11. EVALUACIONES Y MEDICIONES HIGIÉNICAS

9.1 ¿Le consta que en las evaluaciones de riesgos laborales se tenga en cuenta el riesgo por exposición a nanopartículas?*

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

*La evaluación de los riesgos laborales es el proceso dirigido a estimar la magnitud de aquellos riesgos que no hayan podido evitarse, obteniendo la información necesaria para que el empresario esté en condiciones de tomar una decisión apropiada sobre la necesidad de adoptar medidas preventivas y, en tal caso, sobre el tipo de medidas que deben adoptarse.

INSTRUCCIÓN: Marque "Sí" y pase a pregunta 9.2.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

9.2 ¿Le consta que se realicen mediciones higiénicas de nanopartículas en su lugar de trabajo?*

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

*Las mediciones higiénicas son una serie de técnicas que sirven para la detección y la cuantificación de los contaminantes químicos en el ambiente de trabajo.

INSTRUCCIÓN: Marque "Sí" y pase a pregunta 9.2.1.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

9.2.1 ¿Conoce los resultados de las mediciones higiénicas de nanopartículas que se realizan en su trabajo?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: Marque "Sí" y pase a la pregunta 10.1 de la SECCIÓN: 10/11. EMERGENCIAS.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 10/11. EMERGENCIAS

10.1 ¿Conoce algún protocolo de actuación en caso de emergencia relacionado con las nanopartículas?*

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

**Se refiere a protocolos de actuación para situaciones de emergencia por incendio, explosión, derrames, intoxicaciones...*

INSTRUCCIONES: Marque "Sí" y pase a la pregunta 10.1.1.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

10.1.1 Indique para qué situaciones conoce protocolos de actuación en caso de emergencias relacionadas con las nanopartículas.

- ☐ Intoxicación
- ☐ Explosión
- ☐ Derrames
- ☐ Incendios
- ☐ NS-NC
- ☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: Marque cualquier opción excepto "NS-NC" y pase a la pregunta 11.1 de la SECCIÓN: 11/11. RESIDUOS.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 11/11. RESIDUOS

11.1 ¿Le consta que se generen residuos durante su trabajo que puedan contener restos de nanomateriales?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: Marque “Sí” y pase a la pregunta 11.1.1.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

11.1.1 ¿De qué forma son tratados los residuos que pueden contener restos de nanomateriales?

- ☐ Se tratan como residuo peligroso
- ☐ Se tratan de forma especial como residuo contaminado con nanomateriales
- ☐ Se tratan como un residuo no peligroso
- ☐ NS-NC
- ☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: FIN DEL CUESTIONARIO.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

9.2 PANEL DE EXPERTOS: CUESTIONARIO ITINERARIO NEGATIVO

Observación: En las preguntas en las que aparece un círculo para marcar la respuesta, sólo se podrá marcar una opción. En caso de aparecer un cuadrado, la respuesta puede ser múltiple.

SECCIÓN: 1/11. DATOS GENERALES

1.1 Marque la provincia española en donde desarrolla su principal actividad laboral.

- | | |
|--------------------------------------|--|
| <input type="radio"/> Álava | <input type="radio"/> Navarra |
| <input type="radio"/> Albacete | <input type="radio"/> La Coruña |
| <input type="radio"/> Alicante | <input type="radio"/> La rioja |
| <input type="radio"/> Almería | <input type="radio"/> Las palmas |
| <input type="radio"/> Asturias | <input type="radio"/> Lérida |
| <input type="radio"/> Ávila | <input type="radio"/> León |
| <input type="radio"/> Badajoz | <input type="radio"/> Lugo |
| <input type="radio"/> Barcelona | <input type="radio"/> Orense |
| <input type="radio"/> Burgos | <input type="radio"/> Palencia |
| <input type="radio"/> Cáceres | <input type="radio"/> Pontevedra |
| <input type="radio"/> Cádiz | <input type="radio"/> Salamanca |
| <input type="radio"/> Cantabria | <input type="radio"/> Santa cruz de Tenerife |
| <input type="radio"/> Castellón | <input type="radio"/> Segovia |
| <input type="radio"/> Ceuta | <input type="radio"/> Sevilla |
| <input type="radio"/> Ciudad real | <input type="radio"/> Soria |
| <input type="radio"/> Córdoba | <input type="radio"/> Tarragona |
| <input type="radio"/> Cuenca | <input type="radio"/> Teruel |
| <input type="radio"/> Gerona | <input type="radio"/> Toledo |
| <input type="radio"/> Granada | <input type="radio"/> Valencia |
| <input type="radio"/> Guadalajara | <input type="radio"/> Valladolid |
| <input type="radio"/> Guipúzcoa | <input type="radio"/> Vizcaya |
| <input type="radio"/> Huelva | <input type="radio"/> Zamora |
| <input type="radio"/> Huesca | <input type="radio"/> Zaragoza |
| <input type="radio"/> Islas Baleares | |
| <input type="radio"/> Madrid | |
| <input type="radio"/> Jaén | |
| <input type="radio"/> Málaga | |
| <input type="radio"/> Melilla | |
| <input type="radio"/> Murcia | |

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 1.2.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.2 ¿Cuál es su titulación académica de mayor rango?

- ☐ Educación Secundaria Obligatoria
- ☐ Formación Profesional Específica de Grado Medio
- ☐ Formación Profesional Específica de Grado Superior
- ☐ Bachiller
- ☐ Licenciado, Ingeniero, Arquitecto
- ☐ Diplomado, Ingeniero Técnico, Arquitecto Técnico
- ☐ Graduado Universitario
- ☐ Máster
- ☐ Doctorado
- ☐ NS-NC
- ☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: Marque “NS-NC” y pase a la pregunta 1.3.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.3 Indique el tipo de organización a la que pertenece.

- ☐ Centro de Investigación
- ☐ Centro Tecnológico
- ☐ Organismo público de investigación (CSIC, CIEMAT, ISCIII...)
- ☐ Universidad
- ☐ Empresa
- ☐ Fundación
- ☐ NS-NC
- ☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: Marque “NS-NC” pase a la pregunta 1.4.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.4 ¿De qué tipo de recursos económicos dispone su organización?

- ☐ Recursos públicos
- ☐ Recursos privados
- ☐ Recursos mixtos
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: Marque “NS-NC” pase a la pregunta 1.5.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.5 ¿Qué actividad relacionada vincula a su organización con los nanomateriales?

- ☐ Fabricación de nanomateriales
- ☐ Incorporación de nanomateriales en productos o materiales
- ☐ Realización de tareas de investigación y desarrollo de nanomateriales
- ☐ Colocación del producto o material en el destino final
- ☐ NS-NC
- ☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: Marque “NS-NC” pase a la pregunta 1.6.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.6 ¿Cuántos trabajadores hay en total en su organización?*

- ☐ Menos de 10 trabajadores
- ☐ Entre 11 y 49 trabajadores
- ☐ Entre 50 y 249 trabajadores
- ☐ Entre 250 y 499 trabajadores
- ☐ Entre 500 y 1000 trabajadores
- ☐ Más de 1.000 trabajadores

☐ NS-NC

*Se refiere al número total de trabajadores en su organización, no sólo de su centro de trabajo.

INSTRUCCIÓN: Marque "NS-NC" pase a la pregunta 1.7.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.7 ¿Cuántos trabajadores hay en su centro de trabajo que investiguen, manipulen o produzcan nanomateriales?

- ☐ Menos de 10 trabajadores
- ☐ Entre 10 y 49 trabajadores
- ☐ Entre 50 y 249 trabajadores
- ☐ Entre 250 y 500 trabajadores
- ☐ Más de 500 trabajadores
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: Marque "NS-NC" pase a la pregunta 1.8.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.8 ¿Qué tipo de trabajo desarrolla usted relacionado con los nanomateriales?

- ☐ Investigación
- ☐ Tareas de operario en la cadena de producción
- ☐ Gestión de residuos
- ☐ Mantenimiento de equipos e instalaciones
- ☐ Colocación del producto o material en el destino final (*puesta en obra*)
- ☐ Realización de tareas de Prevención en Seguridad y Salud
- ☐ Realización de tareas de Control de Calidad
- ☐ NS-NC
- ☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: Marque "NS-NC" pase a la pregunta 1.9.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.9 ¿Cuántos años de experiencia tiene trabajando, en su puesto actual, en el sector de la nanotecnología?

- | | | | |
|-----|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| año | <input type="radio"/> NS-NC | <input type="radio"/> 9 | <input type="radio"/> 20 |
| | <input type="radio"/> Menos de 1 | <input type="radio"/> 10 | <input type="radio"/> 21 |
| | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 11 | <input type="radio"/> 22 |
| | <input type="radio"/> 2 | <input type="radio"/> 12 | <input type="radio"/> 23 |
| | <input type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 13 | <input type="radio"/> 24 |
| | <input type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 14 | <input type="radio"/> 25 |
| | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 15 | <input type="radio"/> 26 |
| | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 16 | <input type="radio"/> 27 |
| | <input type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> 17 | <input type="radio"/> 28 |
| | <input type="radio"/> 8 | <input type="radio"/> 18 | <input type="radio"/> 29 |
| | <input type="radio"/> 19 | <input type="radio"/> 30 | |
| | <input type="radio"/> Más de 30 años | | |

INSTRUCCIÓN: Marque "NS-NC" y pase a la pregunta 1.10.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

1.10 ¿Cuáles son los principales componentes químicos de los nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo?

- ☐ Óxidos metálicos
- ☐ Metales (metales puros o con componentes metálicos, pero no óxidos metálicos)
- ☐ No metálicos (puros no metálicos o sin componentes metálicos)
- ☐ Orgánicos
- ☐ Carbonáceos (carbono)
- ☐ Otros componentes químicos
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: Marque NS-NC y pase a la pregunta 3.1 de la SECCIÓN 3/11. SALUD LABORAL.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 3/11. SALUD LABORAL

3.1 ¿Considera que su salud puede verse afectada por trabajar con nanomateriales?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: Marque "No" o "NS-NC" y pase a pregunta 3.2.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

3.2 ¿Cuáles cree que son las vías de entrada de las nanopartículas a su organismo?

- ☐ Vía dérmica (contacto con piel)
- ☐ Vía digestiva (al ingerir)
- ☐ Vía parenteral (por heridas, pinchazos...)
- ☐ Vía respiratoria (al respirar)
- ☐ Por ninguna vía de entrada
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: Marque "NS-NC" y pase a pregunta 3.3.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

3.3 ¿Le han realizado algún reconocimiento médico específico por estar expuesto a nanopartículas?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: Marque "No" o "NS-NC" y pase a la pregunta 4.1 de la SECCIÓN 4/11. NORMATIVA Y LEGISLACIÓN.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 4/11. NORMATIVA Y LEGISLACIÓN

4.1 ¿Conoce la normativa específica de Prevención de Riesgos Laborales para trabajar con nanomateriales?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: Marque “No” o “NS-NC” y pase a pregunta 4.2.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

4.2 ¿Cree que es necesaria una normativa específica de Prevención de Riesgos Laborales para trabajar con nanomateriales?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: Marque “No” o “NS-NC” y pase a la pregunta 5.1 de la SECCIÓN 5/11. INFORMACIÓN Y FORMACIÓN.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 5/11. INFORMACIÓN Y FORMACIÓN

5.1 ¿Ha recibido información y/o formación específica sobre Prevención de Riesgos Laborales para trabajar con nanomateriales?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: Marque “No” o “NS-NC” y pase a pregunta 6.1 de la SECCIÓN 6/11. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE PROTECCIÓN COLECTIVA.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 6/11. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE PROTECCIÓN COLECTIVA

6.1 ¿Le consta que se apliquen en su organización medidas preventivas y/o medidas de protección colectiva específicas para evitar y controlar el riesgo por exposición a nanopartículas?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: Marque "No" o "NS-NC" y pase a las pregunta 7.1 de la SECCIÓN: 7/11. PROTECCIONES INDIVIDUALES

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 7/11. PROTECCIONES INDIVIDUALES

7.1 ¿Utiliza algún equipo de protección individual (EPI) en su trabajo para protegerse de la exposición a nanopartículas?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: Marque "No" o "NS-NC" y pase a la pregunta 8.1 de la SECCIÓN: 8/11. PRÁCTICAS SEGURAS DE TRABAJO.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 8/11. BUENAS PRÁCTICAS EN EL TRABAJO

8.1 Indique qué prácticas realiza para trabajar con nanomateriales.

- ☐ Evitar consumir comida y bebida en el puesto de trabajo
- ☐ Evitar aplicarse productos cosméticos
- ☐ Quitarse la bata antes de acceder a otras áreas de trabajo
- ☐ Lavarse las manos antes de comer y al dejar el puesto de trabajo
- ☐ Ducharse y cambiarse de ropa al final de la jornada laboral
- ☐ Evitar tocarse la cara u otras partes expuestas con los dedos contaminados
- ☐ Limpiar el área de trabajo con sistemas de aspiración con filtros HEPA
- ☐ Limpiar el área de trabajo con sistemas de barrido húmedo

☐ No realizo ninguna práctica segura en particular para trabajar con nanomateriales

☐ NS-NC

☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: Marque “NS-NC” y pase a la pregunta 9.1 de la SECCIÓN: 9/11. EVALUACIONES Y MEDICIONES HIGIÉNICAS.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 9/11. EVALUACIONES Y MEDICIONES HIGIÉNICAS

9.1 ¿Le consta que en las evaluaciones de riesgos laborales se tenga en cuenta el riesgo por exposición a nanopartículas?*

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

*La evaluación de los riesgos laborales es el proceso dirigido a estimar la magnitud de aquellos riesgos que no hayan podido evitarse, obteniendo la información necesaria para que el empresario esté en condiciones de tomar una decisión apropiada sobre la necesidad de adoptar medidas preventivas y, en tal caso, sobre el tipo de medidas que deben adoptarse.

INSTRUCCIÓN: Marque “No” o “NS-NC” y pase a pregunta 9.2.

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

9.2 ¿Le consta que se realicen mediciones higiénicas de nanopartículas en su lugar de trabajo?*

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

*Las mediciones higiénicas son una serie de técnicas que sirven para la detección y la cuantificación de los contaminantes químicos en el ambiente de trabajo.

INSTRUCCIÓN: Marque “No” o “NS-NC” y pase a la pregunta 10.1 de la SECCIÓN: 10/11. EMERGENCIAS

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 10/11. EMERGENCIAS

10.1 ¿Conoce algún protocolo de actuación en caso de emergencia relacionado con las nanopartículas?*

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

*Se refiere a protocolos de actuación para situaciones de emergencia por incendio, explosión, derrames, intoxicaciones...

INSTRUCCIONES: Marque "No" o "NS-NC" y pase a la pregunta 11.1 de la SECCIÓN: 11/11. RESIDUOS

Si desea añadir algún comentario, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

SECCIÓN: 11/11. RESIDUOS

11.1 ¿Le consta que se generen residuos durante su trabajo que puedan contener restos de nanomateriales?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: FIN DEL CUESTIONARIO

VALORACIÓN

A. Valore los siguientes aspectos sobre la encuesta.

	No adecuada	Poco adecuada	Adecuada	Muy adecuada	Excelente
Estructura de la encuesta					
Extensión de la encuesta					
Claridad de las preguntas					
Concreción de las preguntas					
Valoración del tiempo necesario para la realización de la encuesta					
Nivel de alcance de los objetivos planteados					

B. ¿Eliminaría alguna pregunta de la encuesta?☐ Sí☐ No

INSTRUCCIONES: si marca "SI" pase a la pregunta C.

Si marca "No" O "NS-NC", pase a la pregunta D.

C. Marque las preguntas a eliminar**1. DATOS GENERALES.**

☐ 1.1 Marque la provincia española en donde desarrolla su principal actividad laboral.

☐ 1.2 ¿Cuál es su titulación académica de mayor rango?

☐ 1.3 Indique el tipo de organización a la que pertenece.

☐ 1.4 ¿De qué tipo de recursos económicos dispone su organización?

☐ 1.5 ¿Qué actividad relacionada vincula a su organización con los nanomateriales?

☐ 1.6 ¿Cuántos trabajadores hay en total en su organización?

☐ 1.7 ¿Cuántos trabajadores hay en su centro de trabajo que investiguen, manipulen o produzcan con nanomateriales?

☐ 1.8 ¿Qué tipo de trabajo desarrolla usted relacionado con los nanomateriales?

☐ 1.9 ¿Cuántos años de experiencia tiene trabajando, en su puesto actual, en el sector de la nanotecnología?

☐ 1.10 ¿Cuáles son los principales componentes químicos de los nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo?

2. NANOMATERIALES**Nanomateriales: óxidos metálicos**

☐ Indique el estado en que se encuentran estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique la cantidad de los nanomateriales que acaba de señalar que puede llegar a manipular en una sola vez

☐ Indique el tamaño de estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique las dimensiones de los nanomateriales que acaba de señalar a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique durante cuántas horas está expuesto a los nanomateriales que ha señalado antes

Nanomateriales: metales

☐ Indique el estado en que se encuentran estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique la cantidad de los nanomateriales que acaba de señalar que puede llegar a manipular en una sola vez

☐ Indique el tamaño de estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique las dimensiones de los nanomateriales que acaba de señalar a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique durante cuántas horas está expuesto a los nanomateriales que ha señalado antes

Nanomateriales: no metálicos

☐ Indique el estado en que se encuentran estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique la cantidad de los nanomateriales que acaba de señalar que puede llegar a manipular en una sola vez

☐ Indique el tamaño de estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique las dimensiones de los nanomateriales que acaba de señalar a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique durante cuántas horas está expuesto a los nanomateriales que ha señalado antes

Nanomateriales: orgánicos

☐ Indique el estado en que se encuentran estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique la cantidad de los nanomateriales que acaba de señalar que puede llegar a manipular en una sola vez

☐ Indique el tamaño de estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique las dimensiones de los nanomateriales que acaba de señalar a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique durante cuántas horas está expuesto a los nanomateriales que ha señalado antes

Nanomateriales: carbonáceos

☐ Indique el estado en que se encuentran estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique la cantidad de los nanomateriales que acaba de señalar que puede llegar a manipular en una sola vez

☐ Indique el tamaño de estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique las dimensiones de los nanomateriales que acaba de señalar a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique durante cuántas horas está expuesto a los nanomateriales que ha señalado antes

Nanomateriales: otros componentes químicos

☐ Indique a qué otros principales componentes químicos de los nanomateriales le consta que usted está expuesto en su trabajo.

☐ Indique el estado en que se encuentran estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique la cantidad de los nanomateriales que acaba de señalar que puede llegar a manipular en una sola vez

☐ Indique el tamaño de estos nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique las dimensiones de los nanomateriales que acaba de señalar a los que usted está expuesto en su trabajo

☐ Indique durante cuántas horas está expuesto a los nanomateriales que ha señalado antes

3. SALUD LABORAL.

☐ 3.1 ¿Considera que su salud puede verse afectada por trabajar con nanomateriales?

☐ 3.2 ¿Cuáles cree que son las vías de entrada de las nanopartículas a su organismo?

☐ 3.3 ¿Le han realizado algún reconocimiento médico específico por estar expuesto a nanopartículas?

4. NORMATIVA Y LEGISLACIÓN.

☐ 4.1 ¿Conoce la normativa específica de Prevención de Riesgos Laborales para trabajar con nanomateriales?

☐ 4.1.1 ¿Qué tipo de normativa específica de Prevención de Riesgos Laborales para trabajar con nanomateriales conoce?

☐ 4.1.2 ¿Cree que es suficiente la normativa específica de Prevención de Riesgos Laborales existente para trabajar con nanomateriales?

☐ 4.2 ¿Cree que es necesaria una normativa específica de Prevención de Riesgos Laborales para trabajar con nanomateriales?

5. INFORMACIÓN Y FORMACIÓN.

☐ 5.1 ¿Ha recibido información y/o formación específica sobre Prevención de Riesgos Laborales para trabajar con nanomateriales?

☐ 5.1.1 Indique qué información y/o formación específica ha recibido sobre riesgos laborales en el sector de la nanotecnologías.

☐ 5.1.2 ¿Recibe periódicamente información y/o formación sobre Prevención de Riesgos Laborales en el sector de las nanotecnologías?

6. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE PROTECCIÓN COLECTIVA.

☐ 6.1 ¿Le consta que se apliquen en su organización medidas preventivas y/o medidas de protección colectiva específicas para evitar y controlar el riesgo por exposición a nanopartículas?

☐ 6.1.1 Indique qué medidas preventivas y/o medidas de protección colectiva específicas se aplican en su trabajo para evitar y controlar el riesgo por exposición a nanopartículas.

7. PROTECCIONES INDIVIDUALES.

☐ 7.1 ¿Utiliza algún equipo de protección individual (EPI) en su trabajo para protegerse de la exposición a nanopartículas?

☐ 7.1.1 Indique qué equipos de protección individual (EPIs) utiliza en su trabajo para protegerse de la exposición a nanopartículas.

8. BUENAS PRÁCTICAS EN EL TRABAJO.

☐ 8.1. Indique qué prácticas realiza para trabajar con nanomateriales.

9. EVALUACIONES Y MEDICIONES HIGIÉNICAS.

☐ 9.1 ¿Le consta que en las evaluaciones de riesgos laborales se tenga en cuenta el riesgo por exposición a nanopartículas?

☐ 9.2 ¿Le consta que se realicen mediciones higiénicas de nanopartículas en su lugar de trabajo?

☐ 9.2.1 ¿Conoce los resultados de las mediciones higiénicas de nanopartículas que se realizan en su trabajo?

10. EMERGENCIAS.

☐ 10.1 ¿Conoce algún protocolo de actuación en caso de emergencia relacionado con las nanopartículas?

☐ 10.1.1 Indique para qué situaciones conoce protocolos de actuación en caso de emergencias relacionadas con las nanopartículas.

11. RESIDUOS.

☐ 11.1 ¿Le consta que se generen residuos durante su trabajo que puedan contener restos de nanomateriales?

☐ 11.1.1 ¿De qué forma son tratados los residuos que pueden contener restos de nanomateriales?

D. ¿Añadiría alguna pregunta en la encuesta?

☐ Sí

No

☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: si marca "SI" pase a la pregunta E.

Si marca "No" O "NS-NC", pase a la pregunta F.

E. Indique qué preguntas añadiría a la encuesta.

INSTRUCCIONES: pase a la pregunta F.

F. Si desea añadir un comentario, sobre aspectos que deberían tenerse en cuenta en la encuesta, puede hacerlo en el cuadro siguiente.

INSTRUCCIONES: FIN DE LA VALORACIÓN DEL CUESTIONARIO

9.3 CUESTIONARIO 0

Observación: En las preguntas en las que aparece un círculo para marcar la respuesta, sólo se podrá marcar una opción. En caso de aparecer un cuadrado, la respuesta puede ser múltiple.

SECCIÓN: 1/10. DATOS GENERALES

1.1 Marque la provincia española en donde desarrolla su principal actividad laboral.

☐

Álava

☐

Albacete

☐

Alicante

☐

Almería

☐

Asturias

☐

Ávila

☐

Badajoz

☐

Barcelona

- | | |
|--------------------------------------|--|
| <input type="radio"/> Burgos | <input type="radio"/> La Coruña |
| <input type="radio"/> Cáceres | <input type="radio"/> La rioja |
| <input type="radio"/> Cádiz | <input type="radio"/> Las palmas |
| <input type="radio"/> Cantabria | <input type="radio"/> Lérida |
| <input type="radio"/> Castellón | <input type="radio"/> León |
| <input type="radio"/> Ceuta | <input type="radio"/> Lugo |
| <input type="radio"/> Ciudad real | <input type="radio"/> Orense |
| <input type="radio"/> Córdoba | <input type="radio"/> Palencia |
| <input type="radio"/> Cuenca | <input type="radio"/> Pontevedra |
| <input type="radio"/> Gerona | <input type="radio"/> Salamanca |
| <input type="radio"/> Granada | <input type="radio"/> Santa cruz de Tenerife |
| <input type="radio"/> Guadalajara | <input type="radio"/> Segovia |
| <input type="radio"/> Guipúzcoa | <input type="radio"/> Sevilla |
| <input type="radio"/> Huelva | <input type="radio"/> Soria |
| <input type="radio"/> Huesca | <input type="radio"/> Tarragona |
| <input type="radio"/> Islas Baleares | <input type="radio"/> Teruel |
| <input type="radio"/> Madrid | <input type="radio"/> Toledo |
| <input type="radio"/> Jaén | <input type="radio"/> Valencia |
| <input type="radio"/> Málaga | <input type="radio"/> Valladolid |
| <input type="radio"/> Melilla | <input type="radio"/> Vizcaya |
| <input type="radio"/> Murcia | <input type="radio"/> Zamora |
| <input type="radio"/> Navarra | |
| <input type="radio"/> Zaragoza | |

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 1.2.

1.2 ¿Cuál es su titulación académica de mayor rango?

- ☐ Educación Secundaria Obligatoria
- ☐ Formación Profesional Específica de Grado Medio
- ☐ Formación Profesional Específica de Grado Superior
- ☐ Bachiller
- ☐ Licenciado, Ingeniero, Arquitecto
- ☐ Diplomado, Ingeniero Técnico, Arquitecto Técnico
- ☐ Graduado Universitario
- ☐ Máster
- ☐ Doctorado
- ☐ NS-NC
- ☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 1.3.

1.3 ¿Qué sector relaciona la actividad que vincula a su organización con los nanomateriales?

- ☐ Cosmética
- ☐ Salud
- ☐ Deporte
- ☐ Construcción
- ☐ Energía
- ☐ Medio ambiente
- ☐ Textil
- ☐ Alimentación
- ☐ Electrónica
- ☐ Transporte
- ☐ Revestimientos
- ☐ Plásticos
- ☐ Sensores
- ☐ Defensa

- ☐ Agricultura
- ☐ Vidrio
- ☐ Metal
- ☐ Investigación, desarrollo y/o docencia
- ☐ Producción de nanomateriales (sin campo industrial concreto definido)
- ☐ Caucho
- ☐ Microscopía e instrumental
- ☐ NS-NC
- ☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 1.4

1.4 ¿Cuántos trabajadores hay en total en su organización?*

- ☐ Menos de 10 trabajadores
- ☐ Entre 11 y 49 trabajadores
- ☐ Entre 50 y 249 trabajadores
- ☐ Entre 250 y 499 trabajadores
- ☐ Entre 500 y 1000 trabajadores
- ☐ Más de 1.000 trabajadores
- ☐ NS-NC

*Se refiere al número total de trabajadores en su organización, no sólo de su centro de trabajo.

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 1.5

1.5 ¿Cuántos trabajadores le consta que hay en su centro de trabajo expuestos a nanomateriales?

- ☐ Menos de 10 trabajadores
- ☐ Entre 10 y 49 trabajadores
- ☐ Entre 50 y 249 trabajadores
- ☐ Entre 250 y 500 trabajadores
- ☐ Más de 500 trabajadores
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 1.6

1.6 ¿De qué tipo de recursos económicos dispone su organización?

- ☐ Recursos públicos
- ☐ Recursos privados
- ☐ Recursos mixtos
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 1.7

1.7 ¿Qué tipo de trabajo desarrolla usted relacionado con los nanomateriales?

- ☐ Actividades relacionadas con la elaboración de nanomateriales
- ☐ Actividades relacionadas con la incorporación de nanomateriales y/o nanotecnologías en otros productos, materiales o procesos in situ
- ☐ Realización de tareas de investigación y desarrollo de nanomateriales
- ☐ Gestión de residuos
- ☐ Servicios de prevención y/o calidad
- ☐ Empaquetado, transporte y/o almacenamiento
- ☐ Limpieza y mantenimiento de instalaciones donde se emplean nanotecnologías
- ☐ NS-NC
- ☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 1.8

1.8 ¿Cuántos años lleva trabajando expuesto a nanomateriales?

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| <input type="radio"/> Menos de 1 año | <input type="radio"/> 11 |
| <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 12 |
| <input type="radio"/> 2 | <input type="radio"/> 13 |
| <input type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 14 |
| <input type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 15 |
| <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 16 |
| <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 17 |
| <input type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> 18 |
| <input type="radio"/> 8 | <input type="radio"/> 19 |
| <input type="radio"/> 9 | <input type="radio"/> 20 |
| <input type="radio"/> 10 | <input type="radio"/> 21 |

- | | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| <input type="radio"/> 22 | <input type="radio"/> 27 |
| <input type="radio"/> 23 | <input type="radio"/> 28 |
| <input type="radio"/> 24 | <input type="radio"/> 29 |
| <input type="radio"/> 25 | <input type="radio"/> 30 |
| <input type="radio"/> 26 | <input type="radio"/> Más de 30 años |

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 2.1 de la SECCIÓN 2/10. NANOMATERIALES.

SECCIÓN: 2/10. NANOMATERIALES

2.1 Marque los nanomateriales a los cuales usted está expuesto.

- ☐ Fullerenos
- ☐ Nanotubo de carbono de pared simple
- ☐ Nanotubo de carbono de pared múltiple
- ☐ Nanopartículas de plata
- ☐ Nanopartículas férricas
- ☐ Negro de carbón
- ☐ Dióxido de titanio
- ☐ Óxido de aluminio
- ☐ Óxido de cerio
- ☐ Dióxido de silicio
- ☐ Poliestireno
- ☐ Polímeros (no incluidos poliestireno)
- ☐ Dendrímeros
- ☐ Nanoarcillas
- ☐ Óxido de zinc
- ☐ Carbonato cálcico
- ☐ Oro
- ☐ Grafeno
- ☐ Quantum dots
- ☐ Titanato de bario
- ☐ Nanopartículas orgánicas

☐ NS-NC

☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 2.2

2.2 Indique el estado en que se encuentran los nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo.

☐ Nanomateriales en suspensión

☐ Nanomateriales en estado sólido y con libertad de movimiento

☐ Nanomateriales en estado sólido y fijados o embebidos en matriz sólida o superficie

☐ NS-NC

☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 2.3

2.3 Indique el tamaño de los nanomateriales a los que usted está expuesto en su trabajo.

☐ Entre 1 y 5 nm

☐ Entre 6 y 20 nm

☐ Entre 21 y 50 nm

☐ Entre 51 y 100 nm

☐ Entre 101 y 300 nm

☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 2.4

2.4 Indique durante cuántas horas está expuesto a nanomateriales en su trabajo.*

☐ Al día _____

☐ A la semana _____

☐ Al mes _____

☐ NS-NC _____

*Marque la opción que corresponda y, a continuación, escriba el número de horas.

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 3.1 de la SECCIÓN 3/10. SALUD LABORAL.

SECCIÓN: 3/10. SALUD LABORAL

3.1 ¿Considera que su salud puede verse afectada por trabajar con nanomateriales?

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 3.2

3.2 ¿Le han realizado algún reconocimiento médico específico por estar expuesto a nanopartículas?

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: si marca “Sí” pase a pregunta 3.2.1.

Si marca “No” o “NS-NC”, pase a la pregunta 4.1 de la SECCIÓN 4/10. INFORMACIÓN Y FORMACIÓN.

3.2.1 ¿Le han observado síntomas relacionados por la exposición a nanomateriales?

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 4.1 de la SECCIÓN 4/10. INFORMACIÓN Y FORMACIÓN.

SECCIÓN: 4/10. INFORMACIÓN Y FORMACIÓN

4.1 ¿Ha recibido información y/o formación específica sobre Prevención de Riesgos Laborales para trabajar con nanomateriales?

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: si marca “Sí” pase a pregunta 4.1.1.

Si marca “No” o “NS-NC”, pase a la pregunta 5.1 de la SECCIÓN 5/10. CONSULTA Y PARTICIPACIÓN.

4.1.1 Indique qué información y/o formación específica ha recibido sobre riesgos laborales por estar expuesto a nanomateriales.

☐ Sobre los nanomateriales a los que está expuesto y sus peligros

☐ Sobre las medidas de control técnicas colectivas

☐ Sobre equipos de protección individual (EPIs)

☐ Sobre la gestión de residuos con nanomateriales

☐ Sobre la maquinaria, equipos, productos y útiles de trabajo para trabajar con nanomateriales

☐ Sobre los resultados de la evaluación de riesgos*

☐ Sobre la utilización, almacenamiento y manipulación de nanomateriales

☐ NS-NC

☐ Otro: _____

*La evaluación de los riesgos es el proceso a estimar la magnitud de aquellos riesgos que no hayan podido evitarse, obteniendo la información necesaria para que el empresario esté en condiciones de tomar una decisión apropiada sobre la necesidad de adoptar medidas preventivas y, en tal caso, sobre el tipo de medidas que deben adoptarse.

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 4.1.2

4.1.2 ¿Recibe periódicamente información y/o formación sobre Prevención de Riesgos Laborales en el sector de las nanotecnologías?

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 5.1 de la SECCIÓN 5/10. CONSULTA Y PARTICIPACIÓN.

SECCIÓN: 5/10. CONSULTA Y PARTICIPACIÓN

5.1 ¿Ha sido consultado acerca de la planificación, organización y consecuencias para la seguridad y salud sobre la utilización de la nanotecnología en su trabajo?

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 6.1 de la SECCIÓN 6/10. MEDIDAS DE CONTROL TÉCNICAS COLECTIVAS.

SECCIÓN: 6/10. MEDIDAS DE CONTROL TÉCNICAS COLECTIVAS

6.1 Indique las medidas técnicas colectivas que se apliquen en su organización para controlar la exposición a nanopartículas.

☐ Prioridad de utilizar los procesos húmedos frente a los secos

☐ Obtención, manipulación y almacenamiento de nanomateriales en medio líquido

☐ Operaciones de limpieza mediante aspiración con filtro HEPA y sistema de barrido húmedo

- ☐ Ventilación mediante extracción localizada (el trabajo se desarrolla en el interior de la vitrina)
- ☐ Ventilación mediante extracción localizada (el trabajo en frente de la vitrina)
- ☐ Ventilación por dilución (ventilar, disminuir la concentración de contaminantes en el ambiente añadiendo aire limpio)
- ☐ Sistemas de aire acondicionado, calefacción y ventilación diferentes para las zonas con presencia de nanomateriales
- ☐ Procedimientos de trabajo en circuito cerrado
- ☐ Habitación con presión positiva
- ☐ Habitación con presión negativa
- ☐ Señalización en la zona donde existe riesgo por exposición a nanopartículas
- ☐ Instalaciones antiexplosivas y seguras
- ☐ Equipos no obsoletos y adaptados para exposición a nanomateriales
- ☐ Se aplican medidas técnicas colectivas pero no sabría identificarlas
- ☐ NS-NC
- ☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 7.1 de la SECCIÓN 7/10. BUENAS PRÁCTICAS EN EL TRABAJO.

SECCIÓN: 7/10. BUENAS PRÁCTICAS EN EL TRABAJO

7.1 Indique qué prácticas generales realiza para trabajar con nanomateriales.

- ☐ Evitar consumir comida y bebida en el puesto de trabajo
- ☐ Evitar aplicarse productos cosméticos
- ☐ Quitarse la bata antes de acceder a otras áreas de trabajo
- ☐ Lavarse las manos antes de comer y al dejar el puesto de trabajo
- ☐ Ducharse y cambiarse de ropa al final de la jornada laboral
- ☐ Evitar tocarse la cara u otras partes expuestas con los dedos contaminados
- ☐ Limpiar el área de trabajo con sistemas de aspiración con filtros HEPA
- ☐ Limpiar el área de trabajo con sistemas de barrido húmedo
- ☐ Guardar la ropa y EPIs utilizados en una bolsa cerrada antes de ser sacados del área de trabajo
- ☐ Prestar atención a los posibles desgastes de las medidas de protección individual

☐ Evitar el tráfico de personas y movimientos bruscos en la zona de exposición a nanomateriales

☐ Acceso limitado a la zona expuesta a nanomateriales el personal autorizada

☐ No realizo ninguna práctica segura en particular para trabajar con nanomateriales

☐ NS-NC

☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 7.2

7.2 ¿Le consta que se generen residuos durante su trabajo que puedan contener restos de nanomateriales?

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: si marca "Sí" pase a pregunta 7.2.1

Si marca "No" o "NS-NC", pase a la pregunta 7.3

7.2.1 ¿De qué forma son tratados los residuos que pueden contener restos de nanomateriales?

☐ Se tratan como residuo peligroso

☐ Se tratan de forma especial como residuo contaminado con nanomateriales

☐ Se tratan como un residuo no peligroso

☐ NS-NC

☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 7.3

7.3 ¿Conoce prácticas seguras en caso de derrame?

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: si marca "Sí" pase a pregunta 7.3.1

Si marca "No" o "NS-NC", pase a la pregunta 7.4

7.3.1 Indique qué prácticas conoce en caso de derrame.

☐ Utilizar aspirador equipado con filtro HEPA

☐ Humedecer el polvo

- ☐ Emplear bayetas humedecidas
- ☐ Utilizar adsorbentes si el derrame es un líquido
- ☐ Gestionar el material generado en la recogida del derrame como un residuo
- ☐ Utilizar equipos de protección individual
- ☐ NS-NC
- ☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 7.4

7.4 ¿Conoce prácticas seguras para evitar el riesgo de incendio y explosión por la presencia de nanomateriales?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: si marca “Sí” pase a pregunta 7.4.1

Si marca “No” o “NS-NC”, pase a la pregunta 8.1 de la SECCIÓN 8/10. PROTECCIONES INDIVIDUALES.

7.4.1 Indique qué prácticas realiza para evitar el riesgo de incendio y explosión por la presencia de nanomateriales.

- ☐ Obtener, manipular y almacenar los nanomateriales en un medio líquido
- ☐ Envolver los nanomateriales en una capa protectora constituida por sales o diferentes polímeros que puedan eliminarse rápidamente antes la utilización del producto
- ☐ La temperatura de funcionamiento de los equipos eléctricos se tiene en cuenta
- ☐ No realizo ninguna práctica segura en particular para evitar el riesgo de incendio y explosión
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 8.1 de la SECCIÓN 8/10. PROTECCIONES INDIVIDUALES.

SECCIÓN: 8/10. PROTECCIONES INDIVIDUALES

8.1 ¿Utiliza algún equipo de protección individual (EPI) en su trabajo para protegerse de la exposición a nanopartículas?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: si marca “Sí” pase a pregunta 8.1.1

Si marca “No” o “NS-NC”, pase a la pregunta 9.1 de la SECCIÓN 9/10. EVALUACIONES Y MEDICIONES HIGIÉNICAS.

8.1.1 Indique qué equipos de protección individual (EPIs) utiliza en su trabajo para protegerse de la exposición a nanopartículas.

Protecciones para el cuerpo.*

- ☐ Guantes de nitrilo
- ☐ Guantes de látex
- ☐ Guantes de neopreno
- ☐ Guantes de cloruro de polivinilo (PVC)
- ☐ Doble guante si la exposición es prolongada
- ☐ Mono completo de protección (Tipo TYVEK)
- ☐ Protector de zapatos
- ☐ No utiliza protecciones para el cuerpo
- ☐ Utiliza protección para el cuerpo, pero no sabría identificarla
- ☐ Otro: _____

*Protecciones para manos, brazos, abdomen, pies, piernas...

Protecciones oculares y/o faciales

- ☐ Gafas de montura universal (protectores cuyos oculares están acoplados en una montura con patillas)
- ☐ Gafas de montura integral (encierran de manera estanca la región orbital)
- ☐ Pantalla facial
- ☐ No utiliza protecciones para la cara u ojos
- ☐ Utiliza protección ocular y/o facial, pero no sabría identificarla
- ☐ Otro: _____

Protecciones para las vías respiratorias.

- ☐ Mascarilla desechable con filtro FFP3
- ☐ Equipo suministrador de aire
- ☐ Respirador con máscara facial completa filtrante (cubre los ojos)
- ☐ Respirador con máscara facial parcial filtrante (no cubre los ojos)

☐ Utiliza protección para las vías respiratorias, pero no sabría identificarla

☐ Otro: _____

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 9.1 de la SECCIÓN 9/10. EVALUACIONES Y MEDICIONES HIGIÉNICAS.

SECCIÓN: 9/10. EVALUACIONES Y MEDICIONES HIGIÉNICAS

9.1 ¿Le consta que se realicen mediciones higiénicas de nanopartículas en su lugar de trabajo?*

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

*Las mediciones higiénicas son una serie de técnicas que sirven para la detección y la cuantificación de los contaminantes químicos en el ambiente de trabajo.

INSTRUCCIONES: si marca “Sí” pase a pregunta 9.1.1 y además marcó en la pregunta 4.1.1 de la SECCIÓN: 4/10. INFORMACIÓN Y FORMACIÓN, la opción “Sobre los resultados de la evaluación de riesgos”.

Si marca “No” o “NS-NC”, pase a la pregunta 10.1 de la SECCIÓN 10/10. ACCIDENTES.

9.1.1 ¿Le consta que en las evaluaciones de riesgos laborales se tenga en cuenta el riesgo por exposición a nanopartículas?

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: pase a la pregunta 10.1 de la SECCIÓN 10/10. ACCIDENTES.

SECCIÓN: 10/10. ACCIDENTES

10.1 ¿Le consta que haya ocurrido algún accidente laboral relacionado con los nanomateriales?

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIONES: si marca “Sí” pase a pregunta 10.1.1

Si marca “No” o “NS-NC”, FIN DEL CUESTIONARIO.

10.1.1 ¿Le consta que se haya investigado accidentes laborales relacionados con nanomateriales?

☐ Sí

☐ No

☐ NS-NC

INSTRUCCIÓN: FIN DEL CUESTIONARIO