

Análisis del método CB NANOTOOL 2.0 y de la NTP 877 “Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas” y su aplicación en perfiles laborales de laboratorio de investigación.

ÍNDICE DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER:

1. RESUMEN	2
2. INTRODUCCIÓN	2
3. JUSTIFICACIÓN	10
4. OBJETIVOS	12
5. CUERPO DEL PROYECTO	12
5.1 Metodología	12
5.2 El método CB NANOTOOL 2.0.....	13
5.3 Aplicación del método a puestos relacionados con la investigación.	18
5.4 Análisis de la Nota técnica de prevención 877: “Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas” ^[10]	23
5.5 Diseño de la hoja de cálculo.....	28
5.6 Investigación del método y resultados:	29
5.7 Análisis de los datos obtenidos:	33
6. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN	39
7. LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....	40
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
8.1 Bibliografía referida	41
8.2 Bibliografía consultada	42

1. RESUMEN

La prevención de riesgos laborales debe abarcar todas las áreas de trabajo, en consecuencia también debe prestar un buen servicio en áreas laborales cambiantes como es la investigación científica. El uso de nuevos materiales y entre ellos, los nanomateriales, suponen un reto para esta disciplina que debe evaluar el riesgo asociado a puestos en los que se empleen estas sustancias.

De entre los métodos de evaluación de riesgos asociados con nanopartículas destacan los métodos cualitativos de “Control Banding” o bandas de riesgo, y entre ellos destaca por su utilidad para puestos laborales de investigación el método CB NANOTOOL 2.0.

A lo largo del presente TFM, se ha analizado la aplicabilidad y eficiencia del método CB NANOTOOL 2.0 como medio apropiado para evaluar el riesgo y proponer medidas de prevención en puestos de trabajo relacionados con la investigación en nanomateriales, así como su ejecución a través de la Nota técnica de prevención que publica el INSHT referente al citado método. Así mismo, se ha desarrollado una herramienta basada en una hoja de cálculo, un cuestionario y propuestas de mejora de aplicabilidad eficiente del método, fruto de la investigación del mismo.

2. INTRODUCCIÓN

En la legislación que hace referencia a la formación del técnico de prevención ^{[1][2]} se establece que para desempeñar las funciones relacionadas con la profesión de Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales será preciso contar con una titulación universitaria oficial y poseer una formación mínima acreditada por una universidad con el contenido especificado en el programa al que se refiere dicha legislación, cuyo desarrollo tendrá una duración no inferior a 600 horas y una distribución horaria adecuada a cada proyecto formativo, respetando la establecida en el anexo citado; es decir, la formación acreditada por una universidad es únicamente un requisito para ejercer esas funciones .

En la citada legislación también se establece el contenido mínimo del programa de formación, para el desempeño de las funciones de nivel superior, entre ellos, la realización de un trabajo

final o de actividades preventivas en un centro de trabajo acorde con la especialización por la que se haya optado, con una duración mínima equivalente a 150 horas.

La universidad Miguel Hernández ha elaborado un programa de Máster en prevención de riesgos laborales adaptado al temario oficial para el desempeño de funciones de nivel superior.

Dentro del temario, entre otros contenidos y actividades se establece que todos los/as estudiantes del Máster, para obtener el título de Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales, deben cursar la parte común y las tres especialidades así como realizar **el trabajo fin de Máster.**

La Universidad^[3], establece como base principal de esta asignatura la realización de un proyecto preferentemente profesional y a poder ser contextualizado en una empresa o institución determinada y su defensa oral ante un tribunal evaluador.

Además también establece que el contenido específico del proyecto debe abarcar aspectos de las tres especialidades preventivas, demostrando que el estudiante domina los conceptos y técnicas básicas estudiadas.

La universidad establece como objetivo general diseñar, desarrollar, implementar y evaluar un proyecto de intervención en el marco de la prevención de riesgos laborales en las organizaciones, a partir de un análisis exhaustivo de las necesidades de una organización productiva que libremente escogerá el estudiante, previa consulta con su tutor-director del proyecto. Así mismo, y previa autorización del director del proyecto asignado, el TFM podrá consistir en un trabajo experimental o de revisión e investigación bibliográfica, siempre que el mismo permita aplicar las competencias adquiridas en el Máster, y tenga carácter transversal empleando técnicas y conocimientos propios de las tres especialidades preventivas de carácter técnico.

Las tres especialidades preventivas a las que se hace mención son Seguridad en el Trabajo, Higiene Industrial, Ergonomía y psicología aplicada. Debido a la amplia multidisciplinariedad que presenta este máster confluyen en él estudiantes venidos de un amplio abanico de titulaciones, desde titulaciones de ámbito jurídico hasta aquellas de ámbito científico. Esto tiene cierta influencia en la elección del enfoque del trabajo fin de Máster, en

adelante TFM. En este caso **el enfoque del TFM se basa en la Higiene industrial pero trabajando de forma transversal las otras dos especialidades preventivas.**

Antecedentes históricos de riesgos laborales por el uso de un material capaz de estar presente en ambiente como es el caso del Amianto, ponen de manifiesto la especial precaución que se debe tomar en caso de materiales con capacidad de ser inhalados por el trabajador, pero sobretodo subyace la idea de que en muchos casos la peligrosidad del material se ha determinado posteriormente a la exposición continuada, pues una primera evaluación del tipo de material ha podido concluir con que no existía peligrosidad, obviando alguna propiedad que sí se la confería.

Uno de los objetivos primordiales de la prevención de riesgos laborales (en adelante PRL) es, precisamente, prevenir situaciones en las que sea necesario que aparezca un daño en el trabajador para reconocer la peligrosidad y el riesgo. De ahí que sea necesario evaluar de forma objetiva y completa todo material que tenga capacidad de pasar al ambiente y por tanto ser inhalado.

Entre los materiales que tienen capacidad de pasar al ambiente y ser inhalados por el trabajador están los nanomateriales. Atendiendo a extractos de artículos como el que se muestra a continuación ^[4]:

“La síntesis de nanomateriales es actualmente una de las ramas más activas dentro de la nanociencia. La definición de nanomateriales engloba aquellos en los que al menos una de sus dimensiones se encuentra en el rango de la nanoescala, es decir, entre 1 y 100 nanómetros. La cualidad más importante y sorprendente de esta nueva familia de materiales es el desarrollo de importantes propiedades dependientes del tamaño cuando sus dimensiones alcanzan el rango nanométrico. El auge experimentado por la investigación en el campo de los nanomateriales en los últimos años pone de manifiesto las potenciales aplicaciones de estos materiales en muy diversos sectores tanto de la sociedad como de la industria.”

Como se menciona en el extracto del citado Artículo, ya en 2006 hay un auge en la investigación de estos materiales que, diez años después continúa. De hecho, basta con llevar a cabo una búsqueda bibliográfica en cualquier buscador de publicaciones con el término “nanoparticle” para encontrar la progresión en el tiempo de artículos relacionados.

Por ejemplo, en los últimos 4 años, a través del buscador “SCOPUS” encontramos la siguiente tendencia:

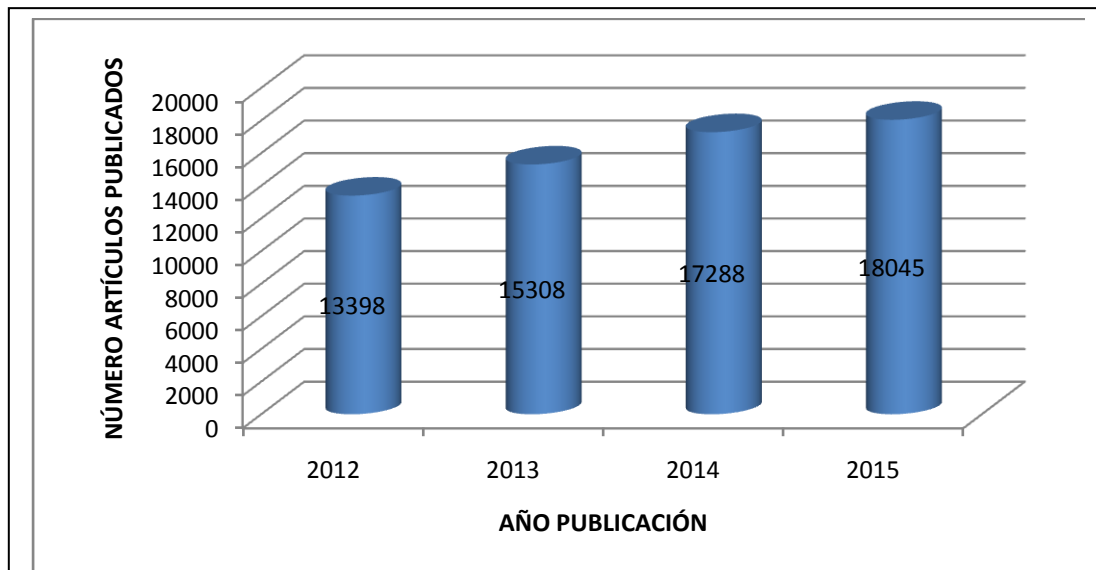


Figura 1. Gráfico realizado por el autor mostrando la evolución de las publicaciones que contienen el término “nanoparticle” en su título.

Este hecho no solo pone de manifiesto que la utilización de nanomateriales está creciendo a gran velocidad sino que la utilización de estos materiales se está llevando a cabo por parte de investigadores. Este es el perfil del trabajador que, por el momento, es el que más emplea este tipo de sustancia. Por ello, una evaluación del puesto de trabajo en el que existan materiales nanométricos en el ambiente debe ir enfocada a entornos de investigación entre otros.

Para ir comenzando con el enfoque preventivo, se ha de considerar que el citado auge en la utilización de nanomateriales es debido, entre otros aspectos, a que el material de partida o “material padre” y el mismo material a escala nanométrica presentan propiedades fisicoquímicas distintas. Análogamente, desde el punto de vista preventivo, un material padre que puede ser no perjudicial para la salud, al cambiar sus propiedades a escala nanométrica, puede convertirse en un riesgo para la salud.

→¿Qué características debe cumplir una sustancia para ser considerada como nanomaterial?

La comisión Europea adoptó en 2011^[5] una recomendación sobre la definición de nanomaterial, entendiéndose como tal un 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 de las dimensiones externas en el intervalo de tamaños comprendido entre un nanómetro y 100 nanómetros. En casos específicos y cuando se justifique por preocupaciones del 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%.

La recomendación de la Comisión Europea ^[5] también indica que:

- los fullerenos, los copos de grafeno y los nanotubos de carbono de pared simple con una o más dimensiones externas inferiores a 1 nm deben ser considerados como nanomateriales.
- Cuando sea técnicamente posible y la legislación específica lo exija, la conformidad con la definición recomendada podrá determinarse sobre la base de la superficie específica por unidad de volumen. Un material debe considerarse incluido en la definición cuando la superficie específica por unidad de volumen del material sea superior a 60 m²/cm³ .
- No obstante, un material que, según su granulometría numérica, es un nanomaterial debe considerarse que respeta la definición incluso si el material tiene una superficie específica inferior a 60 m²/cm³.

La comisión Europea recomienda utilizar esta definición de nanomaterial cuando se adopten y apliquen legislación, políticas y programas de investigación sobre productos de nanotecnologías.

Para ilustrar el tamaño de las nanopartículas de forma más práctica, se muestra la siguiente imagen para comparar las estructuras biológicas al tamaño de los nanomateriales tal y como ha sido definido por la Comisión Europea^[5]:

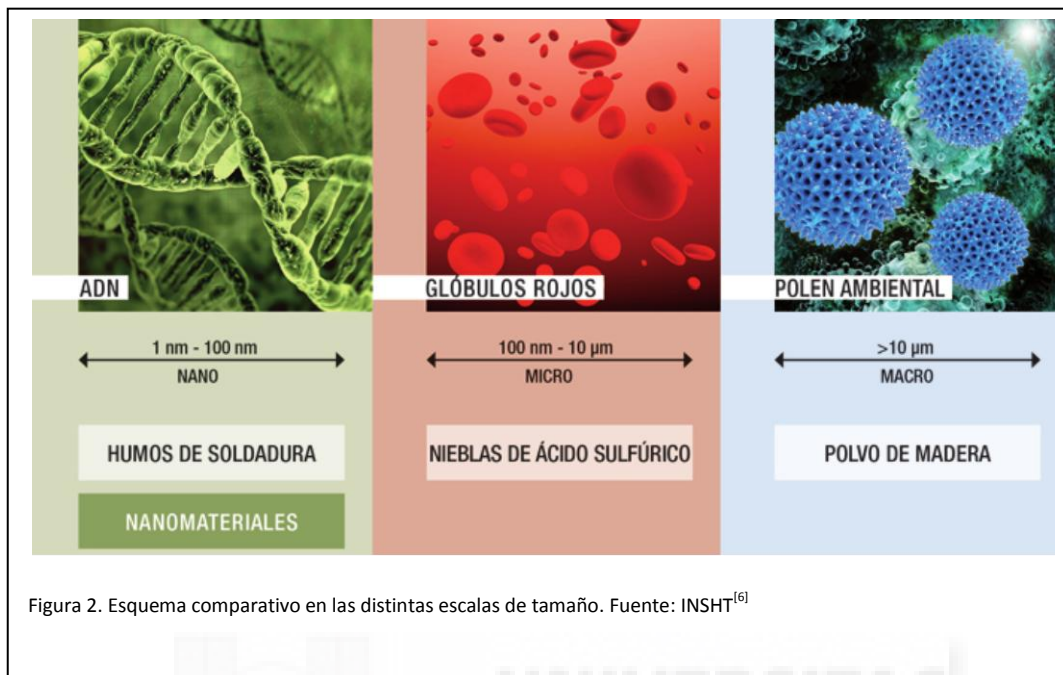


Figura 2. Esquema comparativo en las distintas escalas de tamaño. Fuente: INSHT^[6]

➔ ¿Cómo evaluar el riesgo asociado a la presencia de nanomateriales en el ambiente?

El planteamiento para abordar la evaluación de riesgos sería el utilizado habitualmente para los agentes químicos siguiendo los criterios y recomendaciones de la Guía de Agentes Químicos^[7]. Fases:

FASES	1. Identificación de peligros	2. Estimación y valoración de los riesgos	3. Actualización y revisión de riesgos.
Información a recabar	<ul style="list-style-type: none"> - Clasificación de la forma nano - Distribución de tamaño en número de partículas - Superficie específica - Información morfológica - Modificación en superficie de los nanomateriales - Biopersistencia, solubilidad en agua o en medios biológicos - Datos sobre la capacidad de emisión de polvo. - Datos sobre inflamabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Procesos y tareas que pueden conducir a la liberación de partículas y a su exposición. - Cantidades manipuladas - Estado físico de los materiales en cada etapa del proceso - Trabajadores expuestos y sus factores individuales. - Posibles vías de entrada - Frecuencia de la probable exposición - Concentraciones y tiempo de exposición - Medidas de control existentes. 	Importante debido a que actualmente se están desarrollando muchos estudios sobre los nanomateriales.
Tabla 1. Organización de Fases para evaluación de riesgos ambientes laborales con productos químicos. Tabla elaborada por el autor. Fuente de información: INSHT ^[7]			

De acuerdo la legislación^[8] sobre protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante su trabajo, para la estimación y valoración del riesgo se requiere la medición de la concentración de la exposición al agente químico y su comparación con el correspondiente Valor Límite Ambiental. (VLA).

Es en este punto donde surgen complicaciones a la hora de aplicarlo a nanomateriales ya que, por un lado no suelen existir valores límite ambientales y por otro lado tampoco se dispone de equipos adecuados.

Los equipos portátiles de lectura directa existentes en el mercado, como el contador de partículas por condensación (CPC) o el cargador por difusión (DC) entre otros, sólo son útiles para localizar fuentes de emisión o eficacia de medidas preventivas, ya que, al igual que el resto de equipos de lectura directa (portátiles o no) no pueden diferenciar las partículas nanométricas manufacturadas de las nanopartículas incidentales.

Por lo que respecta a los equipos de lectura indirecta, éstos sí son capaces de, además de caracterizar físico-químicamente las partículas, permiten la determinación de la concentración en masa.

- La caracterización fisicoquímica se lleva a cabo mediante técnicas de microscopía electrónica de alta resolución (TEM o SEM). La combinación de estas técnicas con la espectrometría de RX de energía dispersiva (EDX) proporciona información valiosa sobre la composición centesimal de los nanomateriales analizados. El problema es que se requieren unos requisitos muy rigurosos para la toma y preparación de la muestra.
- Para la determinación de la concentración en masa se emplean análisis químicos y de nuevo se requieren unas condiciones muy específicas para la toma de la muestra. Por otra parte, se ha de conseguir suficiente cantidad de muestra como para superar el límite de cuantificación del método de análisis, lo cual puede ser complicado si la duración de las tareas es corta y la concentración en masa es baja. Una vez conseguidas muestras adecuadas, estas pueden analizarse gravimétricamente o mediante técnicas instrumentales (ICP-AES o ICP-MS).

El mayor problema de este tipo de determinaciones es la complejidad y la carestía de todos los equipos necesarios.

3. JUSTIFICACIÓN

→¿Cómo nace la idea de elaborar el presente TFM?

Las prácticas profesionales llevadas a cabo en el Servicio de Prevención de la Universidad de Alicante por parte del autor del presente documento, son el punto de partida para desarrollar el trabajo realizado que se narra a continuación.

La Universidad de Alicante cuenta con un servicio de prevención propio y como tal, abordan todas las disciplinas preventivas. Dado que la titulación del autor del presente documento (Licenciatura en química) se acerca más a la rama de Higiene industrial junto a una abierta acogida y disposición a enseñar, por parte del encargado de dicha área de prevención en la universidad, el Sr. Don Francisco Brocal, hacen que haya un interés creciente en conocer en mayor profundidad este ámbito profesional de la prevención.

Un problema creciente al que tiene que hacer frente el servicio de prevención de la universidad, y en concreto el área de Higiene, es la evaluación y aplicación de medidas preventivas en perfiles de trabajo de investigación en los que se utilicen nanomateriales. He ahí el nacimiento de este interrogante, ya que una evaluación de este tipo es algo novedoso y en creciente aumento.

Así pues, en este marco situacional y según lo ya comentado en la introducción, de las complicaciones técnicas asociadas a la determinación cuantitativa de nanomateriales en el ambiente, surge la necesidad de utilizar métodos cualitativos para evaluar el riesgo asociado.

A pesar de que según la Guía de Agentes Químicos los métodos cualitativos o simplificados no están concebidos como una alternativa a la evaluación cuantitativa a la exposición a agentes químicos, en el caso de los nanomateriales dado que ni se dispone de VLA ni de equipos adecuados para el muestreo personal, se considera de gran utilidad la utilización de métodos cualitativos mientras se avanza en el conocimiento de las exposiciones laborales.

Existen multitud de métodos cualitativos que pueden ayudar al profesional en la toma de decisiones sobre la evaluación y prevención de los riesgos por exposición a nanomateriales, facilitando su gestión.

En general, todos parten de la recopilación de datos de las características fisicoquímicas del nanomaterial como de las características de exposición, estableciendo bandas de peligro y de exposición que ayudarán a establecer un nivel de riesgo potencial.

En la selección de un método es importante considerar las diferencias (aplicabilidad y limitaciones) que presentan ya que pueden afectar a la consistencia de los resultados obtenidos. De acuerdo con la investigación del perfil laboral de investigación y en concreto a partir del trabajo desarrollado por Brocal ^{[9][10]}, de entre los métodos existentes, el método CB NANOTOOL 2.0 es el que mejor se adapta al perfil mencionado. Sobre todo por un aspecto que lo hace especialmente interesante y es que contempla el desconocimiento de factores dentro de la cuantificación del riesgo. Esto es importante precisamente en el ámbito de investigación ya que diariamente el investigador puede encontrarse con sustancias nuevas con propiedades desconocidas.

Pero el presente TFM no es una mera evaluación de un puesto de trabajo, ya que no sería propio de un trabajo de esta índole, sino que va más allá y analiza e investiga la aplicación de este método en un puesto de trabajo de estas características.

Por otra parte, en el momento en que un técnico de prevención deba evaluar el riesgo asociado a un puesto de trabajo en el que se utilizan nanomateriales, acudirá, obviamente, a buscar información al INSHT (Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo). Desde el INSHT ya se ha elaborado una NTP (Nota técnica de prevención)^[11] para poner en práctica el citado método. Sin embargo, esta guía presenta algunos aspectos confusos que conviene analizar para lograr una aplicabilidad efectiva del método.

Finalmente, la aplicabilidad del método puede facilitarse todavía más empleando para ello herramientas informáticas que agrupen la información necesaria y faciliten la interpretación del resultado.

De esta forma, a partir de la justificación sobre la necesidad de profundizar en esta área de la prevención se plantean los siguientes objetivos:

4. OBJETIVOS

El objetivo principal del TFM es el de analizar la aplicabilidad del método CB NANOTOOL 2.0 en la evaluación de riesgos asociados a la presencia ambiental de nanomateriales en perfiles profesionales investigadores. Con esta finalidad, el presente TFM tiene como objetivos secundarios:

- Analizar la **NTP 877 “Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas”** ^[11] para resaltar aquellos puntos que pueden dar lugar a confusión.
- Proponer y discutir mejoras a introducir en la NTP y en el propio método y diseñar hoja de cálculo para facilitar la aplicación de este método a través de una herramienta informática basada en una hoja de cálculo.

5. CUERPO DEL PROYECTO

5.1 Metodología

Para cumplir con los objetivos propuestos en el apartado anterior se ha llevado a cabo las siguientes tareas:

- Análisis del método CB NANOTOOL 2.0 e investigación de su aplicabilidad en perfiles de investigación mediante investigación de este perfil laboral en lo que respecta al uso de nanomateriales e investigación y búsqueda sobre propiedades y factores evaluables de los nanomateriales más frecuentemente utilizados.
- Análisis comparativo del método investigado con la nota técnica de prevención NTP 877^[11], focalizando en aquellos puntos que pueden dar lugar a confusión o son erróneos y proponiendo la corrección y/o mejora de la misma
- Diseño de herramientas (cuestionario y hoja de cálculo) que constituyen una aplicación sencilla e inmediata del método.

5.2 El método CB NANOTOOL 2.0

Los autores del método^[12] ponen a disposición de los usuarios que deseen utilizarlo una página web: <http://controlbanding.net/Home.html> en la cual aportan todo el material necesario para aplicar el método, incluso una ficha de recogida de datos de campo.

El método se basa, primeramente, en establecer una puntuación de severidad y una puntuación de probabilidad. Ambas puntuaciones se obtienen a partir de la suma de puntuaciones relativas a diferentes factores que los autores han considerado importantes, estos factores son:



- FACTORES DE SEVERIDAD

NANOMATERIAL	PUNTUACIÓN
Reactividad superficial:	Alta (10 puntos) Media (5 puntos) Baja (0 puntos) Desconocida (7,5 puntos).
Forma de la partícula	Forma fibrosa o tubular: 10 puntos Anisotrópica: 5 puntos Compacta o esférica: 0 puntos Desconocida: 7,5 puntos.
Diámetro de la partícula	1-10 nm : 10 puntos 11-40 nm: 5 puntos 41-100 nm: 0 puntos Desconocido: 7,5 puntos
Solubilidad	Insoluble: 10 puntos Soluble: 5 puntos Desconocido 7,5 puntos.
Carcinogénico	Sí: 6 puntos No: 0 puntos Desconocido: 4,5 puntos
Toxicidad reproductiva	Sí: 6 puntos No: 0 puntos Desconocido: 4,5 puntos
Mutagénico	Sí: 6 puntos No: 0 puntos Desconocido: 4,5 puntos
Toxicidad dérmica	Sí: 6 puntos No: 0 puntos Desconocido: 4,5 puntos
Produce Asma	Sí: 6 puntos No: 0 puntos Desconocido: 4,5 puntos

Tabla 2. Organización de los factores de severidad del nanomaterial. Realizada por el autor en base al método CB Nanotool 2.0 ^[12]

MATERIAL PADRE	PUNTUACIÓN
Toxicidad	De acuerdo con el límite de exposición (OEL) $<10\mu\text{gm}^{-3}$: 10 puntos $10\mu\text{gm}^{-3} - 100\mu\text{gm}^{-3}$: 5 puntos $101\mu\text{gm}^{-3} - 1\text{mgm}^{-3}$: 2,5 puntos $>1\text{mgm}^{-3}$: 0 puntos Desconocido: 7,5 puntos
Carcinogénico	Sí: 4 puntos No: 0 puntos Desconocido: 3 puntos
Toxicidad reproductiva	Sí: 4 puntos No: 0 puntos Desconocido: 3 puntos
Mutagenicidad	Sí: 4 puntos No: 0 puntos Desconocido: 3 puntos
Toxicidad dérmica	Sí: 4 puntos No: 0 puntos Desconocido: 3 puntos
Produce asma	Sí: 4 puntos No: 0 puntos Desconocido: 3 puntos
Tabla 3. Organización de los factores de severidad del material padre. Realizada por el autor en base al método CB Nanotool 2.0 [12]	

- FACTORES DE PROBABILIDAD:

FACTOR	PUNTUACIÓN
Cantidad estimada de sustancia durante la tarea	>100 mg : 25 puntos 11-100 mg: 12,5 puntos 0-10 mg: 6,25 puntos Desconocido: 18,75 puntos
Pulverulencia/capacidad de formar nieblas	Alta: 30 puntos Media: 15 puntos Baja: 7,5 puntos Ninguna: 0 puntos Desconocida: 22,5 puntos
Número de empleados con exposición similar	>15 : 15 puntos 11-15: 10 puntos 6-10: 5 puntos 1-5: 0 puntos Desconocido: 11,25 puntos
Frecuencia de la operación usando el material	Diaria: 15 puntos Semanal: 10 puntos Mensual: 5 puntos Menos de mensual: 0 puntos Desconocido: 11,25
Duración de la operación	>4 horas: 15 puntos 1-4 horas: 10 puntos 30-60 min: 5 puntos Menos de 30 minutos: 0 puntos Desconocido: 11,25 puntos

Tabla 4. Organización de los factores de probabilidad. Realizada por el autor en base al método CB Nanotool 2.0 ^[12]

Una vez establecidas ambas puntuaciones (puntuación de severidad y puntuación de probabilidad) el método establece una tabla de doble entrada para determinar el nivel de riesgo (RL) caracterizado por cuatro niveles (1-4):

Probabilidad \ Severidad	Extremadamente Improbable (0-25)	Poco probable (26-50)	Probable (51-75)	Muy probable (76-100)
Muy alta (76-100)	RL 3	RL 3	RL 4	RL 4
Alta (51-75)	RL 2	RL 2	RL 3	RL 4
Media (26-50)	RL 1	RL 1	RL 2	RL 3
Baja (0-25)	RL 1	RL 1	RL 1	RL 2

Tabla 5. Organización de las puntuaciones en la tabla de doble entrada.
 Realizada por el autor en base al método CB Nanotool 2.0 ^[12]

Las medidas de protección a tomar que los autores del método recomiendan para cada nivel de riesgo son las siguientes:

RL1: Ventilación general

RL2: Ventilación por extracción localizada campanas de humos

RL3: Confinamiento

RL 4: Buscar asesoramiento externo.

5.3 Aplicación del método a puestos relacionados con la investigación.

El método aparentemente es sencillo y práctico, con la finalidad de facilitar todavía más su aplicación se ha diseñado un sencillo cuestionario para que el trabajador (perfil investigador) pueda otorgar al técnico de prevención que evalúa los riesgos toda la información necesaria.

Es importante destacar que en la mayoría de las ocasiones, en los puestos de trabajo relacionados con la investigación científica, es primordial la protección de aspectos profesionales y teniendo en cuenta esa disyuntiva, el cuestionario se ha realizado de forma que el trabajador debe aportar la mínima información posible sobre su cometido y su uso del producto calificado como nanomaterial. Tanto es así, que no es siquiera necesario conocer de qué tipo de nanomaterial se trata, ni siquiera en qué tipo de operación lo utiliza.

También es de destacar que en muchas ocasiones ni el propio usuario del producto conoce algunos aspectos que se han de tener en cuenta para la evaluación, incluso es posible que la información para un determinado nanomaterial no se conozca pues se trata de efectos sobre la salud sobre los cuales todavía no se han elaborado estudios. He aquí una de las virtudes de este método, el hecho de considerar y puntuar aspectos que no se conocen tal y como se puede comprobar en las tablas anteriores.

Como ya se ha mencionado, los autores del método han elaborado un cuestionario pero, en este caso, sí incluyen apartados a completar los cuales suelen ser susceptibles de omitirse por el secreto profesional.

El cuestionario que figura a continuación, ha sido pasado a diferentes áreas de investigación de una Universidad en laboratorios en los que se trabaja con nanomateriales.

Los resultados se tratarán en un epígrafe posterior.

**CUESTIONARIO RECOPIACIÓN DATOS ACERCA DEL TRABAJO CON
NANOMATERIALES**

- *Este cuestionario está diseñado para recopilar datos sobre las características del nanomaterial con el que usted trabaja.*
- *El fin de esta información es un estudio general sobre las condiciones de seguridad en el ámbito de la investigación trabajando con nanomateriales.*
- *Si trabaja con más de un nanomaterial complete un cuestionario para cada uno de ellos.*
- *Se garantiza que la procedencia de toda la información que pueda ser recabada será confidencial y es careciente de interés para dicha investigación.*

FECHA: _____

Una vez completado, por favor, escriba aquí las dudas u observaciones que considere oportunas sobre este cuestionario: _____

SEÑALE LA OPCIÓN QUE CORRESPONDA EN CADA CASO SOBRE EL NANOMATERIAL CON EL QUE TRABAJA.

INFORMACIÓN SOBRE LA NANOPARTÍCULA

Parámetro	Marque la opción que corresponda			
Reactividad superficial: reactividad y capacidad de inducir radicales libres.	Bajo <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Alto <input type="checkbox"/>	Desconocido <input type="checkbox"/>
Forma de la partícula	Esférica o compacta <input type="checkbox"/>	Diferentes formas <input type="checkbox"/>	Fibrosa o tubular <input type="checkbox"/>	Desconocido <input type="checkbox"/>
Diámetro de la partícula	De 0 a 40 nm <input type="checkbox"/>	De 11 a 40 nm <input type="checkbox"/>	De 1 a 10 nm <input type="checkbox"/>	Desconocido <input type="checkbox"/>
Solubilidad	Insoluble <input type="checkbox"/>	Soluble <input type="checkbox"/>	Desconocido <input type="checkbox"/>	
Carcinogénico	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Desconocido <input type="checkbox"/>	
Toxicidad reproductiva	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Desconocido <input type="checkbox"/>	
Mutagénico	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Desconocido <input type="checkbox"/>	
Toxicidad dérmica	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Desconocido <input type="checkbox"/>	
Produce Asma	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Desconocido <input type="checkbox"/>	

INFORMACIÓN SOBRE EL MATERIAL PADRE:

Parámetro	Marque la opción que corresponda				
Toxicidad . De acuerdo con el límite de exposición (OEL)	$<10\mu\text{gm}^{-3}$ <input type="checkbox"/>	$10\mu\text{gm}^{-3} -$ $100\mu\text{gm}^{-3}$ <input type="checkbox"/>	$101\mu\text{gm}^{-3}$ $- 1\text{mgm}^{-3}$ <input type="checkbox"/>	$>1\text{mgm}^{-3}$ <input type="checkbox"/>	Desconocido <input type="checkbox"/>
Carcinogénico	Sí <input type="checkbox"/>		No <input type="checkbox"/>		Desconocido <input type="checkbox"/>
Toxicidad reproductiva	Sí <input type="checkbox"/>		No <input type="checkbox"/>		Desconocido <input type="checkbox"/>
Mutagénico	Sí <input type="checkbox"/>		No <input type="checkbox"/>		Desconocido <input type="checkbox"/>
Toxicidad dérmica	Sí <input type="checkbox"/>		No <input type="checkbox"/>		Desconocido <input type="checkbox"/>
Produce Asma	Sí <input type="checkbox"/>		No <input type="checkbox"/>		Desconocido <input type="checkbox"/>

- *Nota aclaratoria: el material padre corresponde al material del que está constituida la nanopartícula pero a escala macroscópica.*

INFORMACIÓN SOBRE EL USO DEL NANOMATERIAL

FACTOR	Marque la opción que corresponda				
Cantidad estimada de sustancia durante la tarea	>100 mg <input type="checkbox"/>	11-100 mg <input type="checkbox"/>	0-10 mg <input type="checkbox"/>	Desconocido <input type="checkbox"/>	
Pulverulencia/capacidad de formar nieblas	Alta <input type="checkbox"/>	Media <input type="checkbox"/>	Baja <input type="checkbox"/>	Ninguna <input type="checkbox"/>	Desconocida <input type="checkbox"/>
Número de empleados con exposición similar	>15 <input type="checkbox"/>	11-15 <input type="checkbox"/>	6-10 <input type="checkbox"/>	1-5 <input type="checkbox"/>	Desconocido <input type="checkbox"/>
Frecuencia de la operación usando el material	Diaria <input type="checkbox"/>	Semanal <input type="checkbox"/>	Mensual <input type="checkbox"/>	Superior a mensual <input type="checkbox"/>	Desconocido <input type="checkbox"/>
Duración de la operación	>4 horas <input type="checkbox"/>	1-4 horas <input type="checkbox"/>	30-60 min <input type="checkbox"/>	Menos de 30 minutos <input type="checkbox"/>	Desconocido <input type="checkbox"/>

5.4 Análisis de la Nota técnica de prevención 877: “Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas”^[10]

Basándose en el trabajo de Brocal^{[9][10]} y una vez analizado el método CB NANOTOOL 2.0 desde la fuente de información primaria (sus autores) es el momento de analizar la NTP 877^[11] cuyo cometido es el de funcionar como guía para evaluar riesgos asociados a nanomateriales siguiendo este mismo método.

Según indica en la NTP la redactora Celia Tanarro Gonzalo:

“ el uso de metodologías de “control banding” o metodologías simplificadas de evaluación del riesgo puede ser una alternativa adecuada. Las primeras metodologías de este tipo fueron aplicadas en el campo de la higiene en la industria farmacéutica y microbiológica dado que en ella se desarrollaban continuamente productos nuevos de los que no se tenía suficiente información toxicológica.....Las similitudes en la dificultad de evaluación son claras y por ello Paik et al. Proponen una metodología basada en la misma matriz del COSHH Essentials .

La metodología original publicada en 2008 fue posteriormente reevaluada introduciéndose ligeras modificaciones . A continuación se presenta la metodología simplificada, pero se indicarán cuales han sido las modificaciones”

Es decir, tal y como ya se ha comentado, esta nota técnica de prevención se basa en el método descrito anteriormente.

A continuación se va a llevar a cabo un análisis de la nota técnica de prevención. Para ello, se ha hecho un trabajo de comparación y de reflexión sobre aquellos puntos en los que la nota técnica presenta algunas lagunas o puntos de conflicto que puedan dar lugar a confusión a la hora de su aplicación.

1. En la segunda página de la citada NTP, en el punto 2, cuando la redactora hace referencia al cálculo de la puntuación de la severidad, en el tercer párrafo hay un error en un concepto

“ las nanopartículas pueden actuar de una manera muy diferente al mismo material y que, en general, son más tóxicas que en microescala”.

El error radica en el término utilizado “microescala” ya que el prefijo micro hace referencia a tamaños del orden de la milésima del milímetro.

Se debe corregir este término para no inducir a error, debería escribir “...son más tóxicas que **en macroescala**”

2. En la misma página para el mismo apartado (cálculo de la puntuación de severidad) la redactora, en el séptimo párrafo comienza a tratar uno a uno los diferentes factores de severidad a tener en cuenta. Comienza tratando la reactividad superficial y, dado que se trata de la presentación de una metodología preestablecida, la redactora omite información sobre la misma ya que los autores^[12], respecto a la reactividad superficial indican

“Particle surface free radical activity is the primary factor that influences the material’s overall surface reactivity. Points will be assigned based on a qualitative judgement of whether the surface reactivity is high, medium or low. Research studies will be consulted, when available, to make the judgment”

y la redactora ha simplificado el análisis de este parámetro redactando lo siguiente:

“ la reactividad superficial podría ponderarse en determinados casos considerando la capacidad de la sustancia de dar lugar a estrés oxidativo.”

La redactora debería incluir las recomendaciones de los autores y añadir que deben consultarse estudios existentes siempre que estén disponibles para tomar una decisión. Además, los autores no consideran la posibilidad de que una partícula dé lugar a estrés oxidativo salvo cuando tratan la solubilidad. El estrés oxidativo es causado por un desequilibrio entre la producción de especies reactivas del oxígeno y la capacidad de un sistema biológico de decodificar rápidamente los reactivos intermedios o reparar el daño resultante. Lo cual tiene más sentido, de acuerdo con los autores, considerarlo al tratar la solubilidad en fluidos biológicos.

3. La redactora, en la página 3, cuando trata el factor de solubilidad, redacta:

“La solubilidad se considera como en el caso de las partículas a tamaño convencional, solubilidad en fluidos biológicos”

Por su parte, los autores del método, simplemente establecen para este parámetro:

“ Since soluble nanoparticles can also cause adverse effects through dissolution in the blood, severity points are assigned to soluble nanoparticles as well, but to a lesser degree than for insoluble particles.”

Los autores solo se refieren a la sangre. En este sentido, la redactora debió referirse al mismo fluido o incluso, si se refiere a fluidos biológicos, debería establecer claramente si se refiere a hidrosolubilidad o liposolubilidad. En este punto, hay cierta controversia incluso desde lo establecido por los autores ya que, la peligrosidad del material no será igual si es hidrosoluble o liposoluble.

4. De nuevo en la página 3, la redactora ha organizado todos los factores a tener en cuenta para la puntuación de la severidad, en concreto, para la puntuación relativa la diámetro de las partículas comete el error de establecer la puntuación 0 para un diámetro de 40 a 100 nm, el siguiente diámetro, al que se le atribuyen 5 puntos es de 11 a 40 nm. Por lo que las partículas de 40 nm estarían en conflicto entre ambas puntuaciones, la redactora debe corregir el rango de 0 puntos tal y como lo establecen los autores, para diámetros de **41 a 100 nm**.
5. En la página 4, la redactora también elabora una tabla para organizar los factores a tener en cuenta para el cálculo de la puntuación de probabilidad, en la primera nota a pié de tabla la redactora anota

“ (1) Para una frecuencia menor que el mensual la puntuación es cero”

Para referirse al factor frecuencia de operaciones con el nanomaterial. De nuevo hay otro error en la redacción , ya que una frecuencia menor que mensual puede dar a entender semanal o diaria, lo cual se asigna puntuación en la tabla. En ese caso, convendría especificarlo más : **(1) si el nanomaterial se usa menos de una vez al mes la puntuación sería cero.**

6. En la misma tabla, en el aspecto relativo al número de trabajadores con exposición similar, la redactora vuelve a cometer un error en los rangos, ya que para el rango de 6-10 trabajadores establece la puntuación 5, pero en la primera nota a pié de tabla redacta

“(1) Para menos de 5 trabajadores la puntuación es cero”

Por lo que para 5 trabajadores no se sabría que puntuación asignar. La redactora debe corregir este aspecto y escribir **“(1) Para menos de 6 trabajadores la puntuación es cero”**



El análisis de la NTP 877 descrito viene resumido en la siguiente tabla:

Puntos de conflicto de la NTP 877^[11]	Recomendaciones
Página 2, punto 2. Concepto erróneo: La redactora usa el término “microescala” refiriéndose a nanopartículas.	Debe corregir el término “microescala” y sustituirlo por “nanoescala” o “escala nanométrica”
Página 2, punto 2. Omisión de información respecto al método original: Los autores recomiendan que se lleven a cabo consultas sobre estudios realizados en relación con la reactividad superficial para tomar una decisión. La redactora omite esta información.	Debe añadirse dicha información e indicar que “para tomar una decisión en cuanto juicio de la reactividad superficial es preciso consultar investigaciones recientes en dicha materia”
Página 3. La redactora extiende el concepto de solubilidad en sangre que proponen los autores a solubilidad en fluidos biológicos.	Al extender el concepto surgen dudas sobre si se trata de hidrosolubilidad o liposolubilidad. En este sentido la redactora debió ceñirse a lo establecido por los autores e indicar “solubilidad en sangre”.
Página 3. A las partículas de 40 nm se le pueden asociar dos puntuaciones (0 y 5 puntos) La redactora comete un error de transcripción desde el método.	Corrección: 0 puntos a partículas de diámetro 41 a 100 nm. 5 puntos a partículas de 11 a 40 nm.
Página 4. Nota al pie de tabla. La redactora usa la expresión “Para una frecuencia menor que el mensual la puntuación es cero” Pudiendo dar lugar a confusión al técnico.	Corregir por expresiones similares a: “ si el nanomaterial se usa menos de una vez al mes la puntuación será cero”
Página 4. Tabla. Error de rango y transcripción. Al valor 5 trabajadores no se le asigna ninguna puntuación ya que la redactora establece 5 puntos al rango 6-10 trabajadores y añade a pie de tabla: “Para menos de 5 trabajadores la puntuación es cero”	Debe corregir la expresión utilizada a pie de tabla e indicar “Para menos de 6 trabajadores la puntuación es cero”.
Tabla 6. Resumen de los puntos de conflicto que aparecen en la NTP 877 y recomendaciones.	

5.5 Diseño de la hoja de cálculo.

Para poder aplicar el método de forma eficaz y rápida, el autor de presente TFM ha elaborado una herramienta sobre el programa informático Microsoft Excel, de manera que, a partir de los datos recopilados directamente del cuestionario del epígrafe anterior, es posible establecer el nivel de riesgo y las recomendaciones que proponen los autores del método según dicho nivel.

Usando esta aplicación informática, no es necesario transformar la información a cifras, sumar, etc. La información puede ser introducida a través de desplegable que muestran las opciones para cada factor y la hoja de cálculo, automáticamente, va sumando, calculando y efectúa la doble entrada en la tabla devolviendo un nivel de riesgo.

En la siguiente imagen se muestra el entorno de la hoja que se adjunta al presente TFM como anexo en forma de CD-ROM.

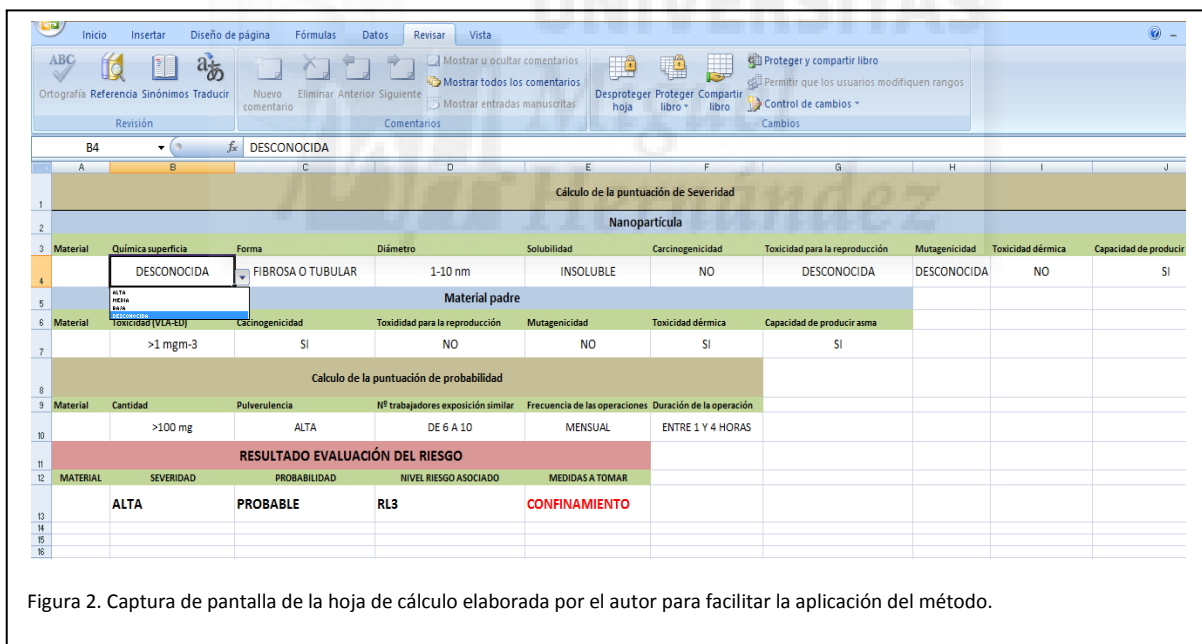


Figura 2. Captura de pantalla de la hoja de cálculo elaborada por el autor para facilitar la aplicación del método.

5.6 Investigación del método y resultados:

5.6.1 El perfil profesional

Como ya se ha comentado anteriormente, el cuestionario diseñado ha sido pasado a diferentes áreas de investigación de una Universidad.

Es comprensible que exista cierta reticencia a que un particular requiera información sobre el manejo de una sustancia en concreto, a pesar de que el cuestionario garantiza la confidencialidad de la sustancia, lo más interesante de la información recabada es el uso de la sustancia para la puntuación de probabilidad del método.

De esta forma, sin menoscabar la información relativa a la información de la nanopartícula nos basamos en la información relativa a su uso profesional para tomar como referencia un perfil sobre el cual evaluar el método para este puesto de trabajo:

El perfil encontrado, basado en corresponder a las respuestas más frecuentes para cada factor es el siguiente:

FACTOR	Respuesta más frecuente
Cantidad estimada de sustancia durante la tarea	Entre 11 y 100 mg
Pulverulencia/capacidad de formar nieblas	Alta
Número de empleados con exposición similar	Desconocido
Frecuencia de la operación usando el material	Semanal
Duración de la operación	Menos de 30 min

Tabla 7. Resultados más frecuentes obtenidos en el pase del cuestionario sobre factores de probabilidad del método CB NANOTOOL 2.0 a investigadores

No solo es importante la caracterización de este perfil laboral, sino además es interesante el hecho de haber dejado abierta la posibilidad de que el encuestado escriba sus observaciones acerca del test. En este sentido, se ha encontrado que:

- Desconocen muchos de los factores e incluso indican que esa información es, precisamente, lo que tratan de averiguar en su investigación (sobre todo en la química superficial).
- También manifiestan dudas respecto a la solubilidad, viéndose obligados a contestar “desconocido”.
- Manifiestan dudas respecto al factor relativo a Pulverulencia/capacidad de formar nieblas, indicando que son aspectos distintos y que en su contestación se han referido a la pulverulencia.

Finalmente, indicar que la puntuación obtenida en la evaluación del factor de probabilidad está en el rango 51-75, de manera que, según lo que se muestra en la tabla 5 del presente documento, no queda restringido ningún nivel de riesgo (1-4) dependiendo, entonces, de la puntuación de Severidad.

5.6.2 Los nanomateriales

Para poder efectuar una evaluación profesional de método para un perfil de usuario correspondiente a los datos obtenidos, se ha efectuado un estudio acerca de 17 sustancias usadas comúnmente como nanomateriales, éstas han sido seleccionadas de entre las que establece la publicación del INSHT^{[6](P.14,15)}.

Para encontrar la información relativa a los factores que exige el método se ha recabado información de las fichas de datos de seguridad de sustancias que, afortunadamente en muchos casos la casa comercial publica en sus páginas sin necesidad de tener que adquirir el producto. Aún así, cierta información es desconocida.

Cabe destacar que, algunas casas comerciales (como SIGMA-ALDRICH) ya venden sus productos y fichas de seguridad de la sustancia junto al adjetivo “nanopartícula” lo que facilita mucho la búsqueda de información.

A continuación se muestran los resultados de la búsqueda para los citados 17 nanomateriales:

Nanopartícula									
Material	Química superficial, reactividad y capacidad de producir radicales libres	Forma	Diámetro	Solubilidad	Carcinogenicidad	Toxicidad para la reproducción	Mutagenicidad	Toxicidad dérmica	Capacidad de producir asma
Dióxido de Titanio	Desconocido	Desc.	1-150 nm	Desc.	Si	Desc.	Desc.	Ligera	Desc.
Sílice	Desconocido	Desconocido	Desc.	No	Si	Desc.	Si	Desc.	Desc.
Óxido de Zinc	Desconocido	Fibrosa	Desc.	Desc.	No	Desc.	Si	Si	Desc.
Óxido de Aluminio	Desconocido	Fibrosa	11-40 nm	No	No	Desc.	Desc.	No	No
Óxido de Hierro	Desconocido	Esférica	5 nm	Desc.	Si	Si	Si	Si	Si
Óxido de Cerio	Desconocido	Dif. Formas	30-50 nm	Si	No	Desc.	Desc.	Desc.	Desc.
Óxido de Zirconio	Desconocido	Esféricas	<100 nm	No	No	Desc.	Desc.	No	Desc.
Oro	Desconocido	Esféricas	<100 nm	Desc.	Si	Desc.	Desc.	Desc.	Si
Plata	Desconocido	Esféricas	<100 nm	Desc.	No	Desc.	Desc.	Desc.	Desc.
Hierro	Medio	Esféricas	<100 nm	Desc.	Desc.	Desc.	Desc.	Si	Si
Fullerenos (C60)	Desconocido	Esféricas	0,1-2 nm	Desc.	No	Desc.	Desc.	No	Si
Grafeno	Desconocido	Dif. Formas	<100 nm	Si	No	No	No	No	No
Nanotubos de carbono	Desconocido	Tubular	2 nm	No	No	Desc.	Desc.	No	Si
Negro de Carbono	Bajo	Esférica	<100 nm	No	Desc.	Desc.	Desc.	Desc.	Desc.
Nanoarcilla	Medio	Dif. Formas	<100 nm	No	Desc.	Desc.	Desc.	Desc.	Si
Carburo de Silicio	Medio	Fibrosa	<100 nm	No	Si	Desc.	No	No	Desc.
Celulosa	Desconocido	Fibrosa	3 nm	No	Desc.	Desc.	Desc.	Si	Si

Tabla 8: Recopilación de la información encontrada acerca de los factores de severidad de 17 nanomateriales usuales.

En cuanto a la información relativa al material padre, ha sido, obviamente, más sencillo encontrar la información que solicita el método, aún así, en algunos casos ha habido información no encontrada, los resultados de esa búsqueda han sido los siguientes:

Material padre						
Material	Toxicidad (VLA-ED mg/m ³)	Cecinogenicidad	Toxicidad para la reproducción	Mutagenicidad	Toxicidad dérmica	Capacidad de producir asma
Dióxido de Titanio	10	No	Si	No	Si	Si
Sílice	0,05	Si	Desc.	Desc.	Si	Si
Óxido de Zinc	2	Desc.	Desc.	Desc.	No	Si
Óxido de Aluminio	10	No	No	No	No	No
Óxido de Hierro	5	No	No	No	Si	Si
Óxido de Cerio	Desc.	No	No	No	No	No
Óxido de Zirconio	5	No	Desc.	Desc.	Si	Si
Oro	Desc.	No	No	No	No	Desc.
Plata	0,1	No	No	No	No	Desc.
Hierro	Desc.	Si	No	No	No	Desc.
Fullerenos	2,5	Si	No	No	Si	Si
Grafeno	2,5	Si	No	No	Si	Si
Nanotubos de carbono	2,5	Si	No	No	Si	Si
Negro de Carbono	2,5	Si	No	No	Si	Si
Nanoarcilla (SiO ₂)	10	Si	Desc.	Desc.	Si	Si
Carburo de Silicio	3	Desc.	Desc.	Desc.	Desc.	Desc.
Celulosa	10	No	No	No	Si	Si

Tabla 9: Recopilación de la información encontrada acerca de los factores de severidad de materiales padre de 17 nanomateriales usuales.

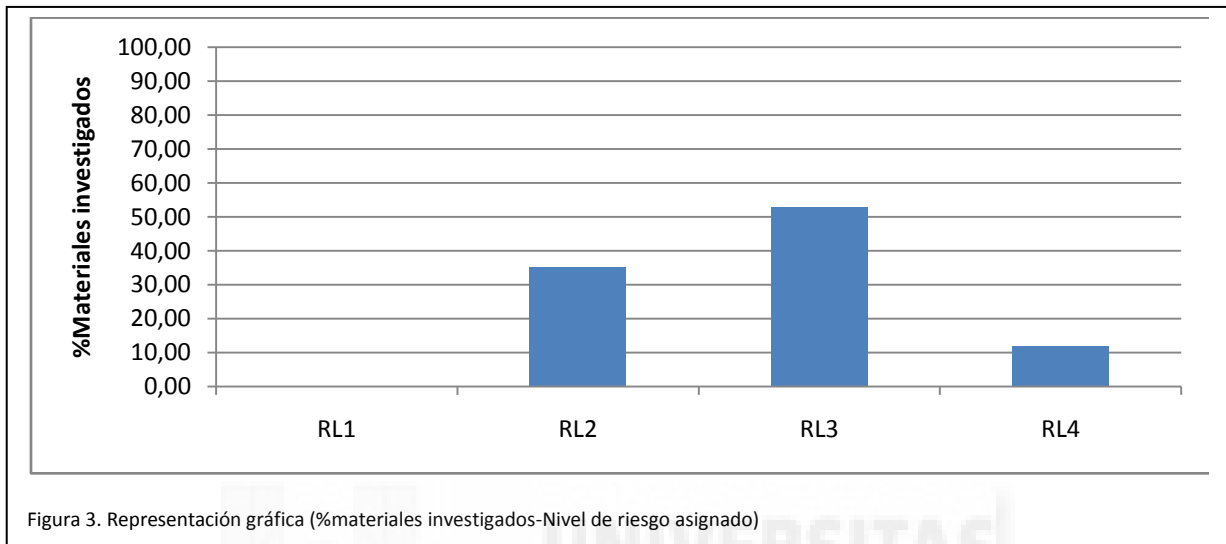
Con toda esta información y para un mismo perfil de puesto de trabajo (el que se obtuvo a partir de la investigación del puesto de trabajo) al aplicar el método a todos ellos, los resultados han sido los siguientes:

RESULTADO EVALUACIÓN DEL RIESGO	
MATERIAL	NIVEL RIESGO ASOCIADO
Dióxido de Titanio	RL3
Sílice	RL4
Óxido de Zinc	RL3
Óxido de Aluminio	RL2
Óxido de Hierro	RL3
Óxido de Cerio	RL2
Óxido de Circonio	RL2
Oro	RL3
Plata	RL2
Hierro	RL3
Fullerenos	RL3
Grafeno	RL2
Nanotubos de carbono	RL3
Negro de Carbono	RL2
Nanoarcilla	RL3
Carburo de Silicio	RL3
Celulosa	RL4

Tabla 10: Resultados al aplicar el método a partir de la información encontrada y para el perfil laboral investigado.

5.7 Análisis de los datos obtenidos:

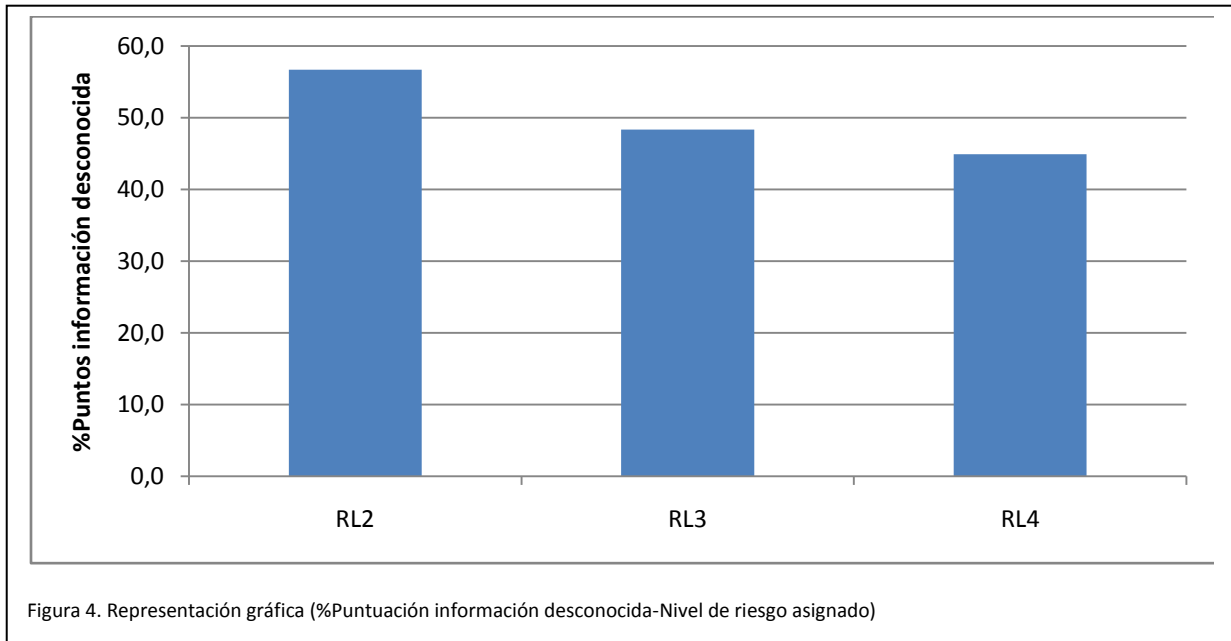
De los 17 materiales estudiados en un perfil laboral como el investigado se ha obtenido el porcentaje de materiales según el riesgo que conlleva su uso:



En algo más de la mitad de los materiales investigados, el nivel de riesgo asociado es el 3, lo cual significa que se debe realizar un confinamiento del área de trabajo.

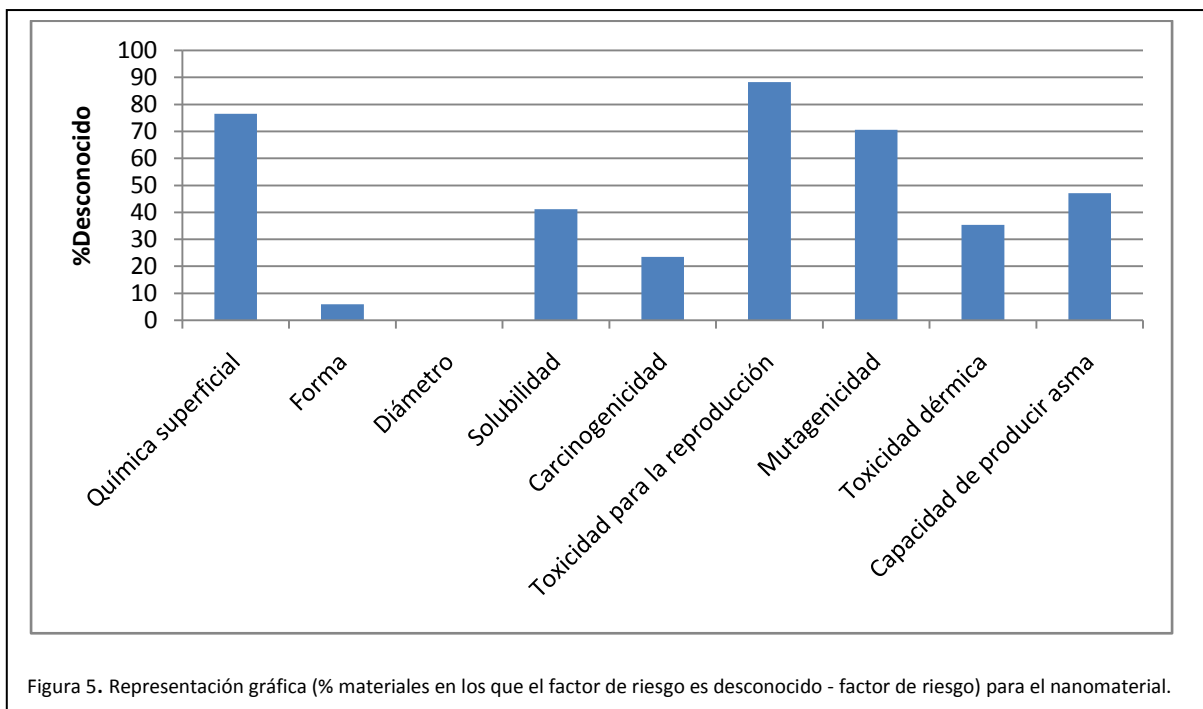
Una de las virtudes del método, como ya se ha indicado, es que cuando no se conoce la información el método ya lo contempla y contabiliza esa posibilidad. Como se puede observar hay muchos factores en los que aparece el “desconocido”.

Sin embargo, llama la atención que a pesar de tanta información desconocida sea posible establecer medidas preventivas con garantías. Si evaluamos la cantidad de información desconocida con el nivel de riesgo asociado, se encuentra que, relacionado de forma promediada los puntos relativos a la falta de información frente al nivel de riesgo asociado finalmente:



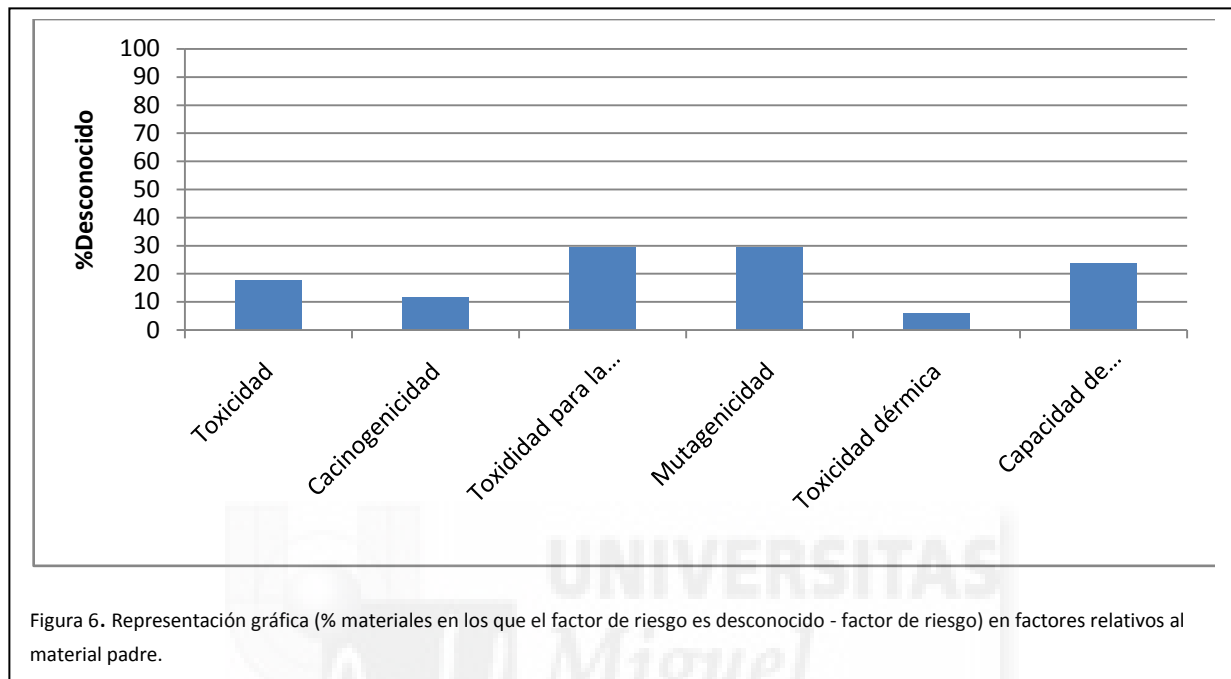
Este resultado podría parecer algo contradictorio, en principio a mayor falta de información deberían tomarse medidas de mayor seguridad. Sin embargo, se ha de tener en cuenta que el desconocimiento de determinados factores no tiene un peso igual en cuanto a puntuación que otros. Veamos qué factores son los más desconocidos y cuál es su influencia en los resultados:

- En primer lugar, respecto a la información que es necesario recabar **para la nanopartícula**, obtenemos los siguientes resultados:



Se ha representado cada factor frente al porcentaje de desconocimiento respecto a la información para los 17 nanomateriales estudiados.

En el caso de la información **para el material padre**:



Tal y como puede observarse, los factores de los cuales es más complicado obtener información son relativos a la nanopartícula, tal y como ya se predijo, en concreto son aquellos que requieren de estudios de afección para la salud como es el caso de la toxicidad para la reproducción y la mutagenicidad, así como de conocer el comportamiento de la partícula, es decir, la química superficial.

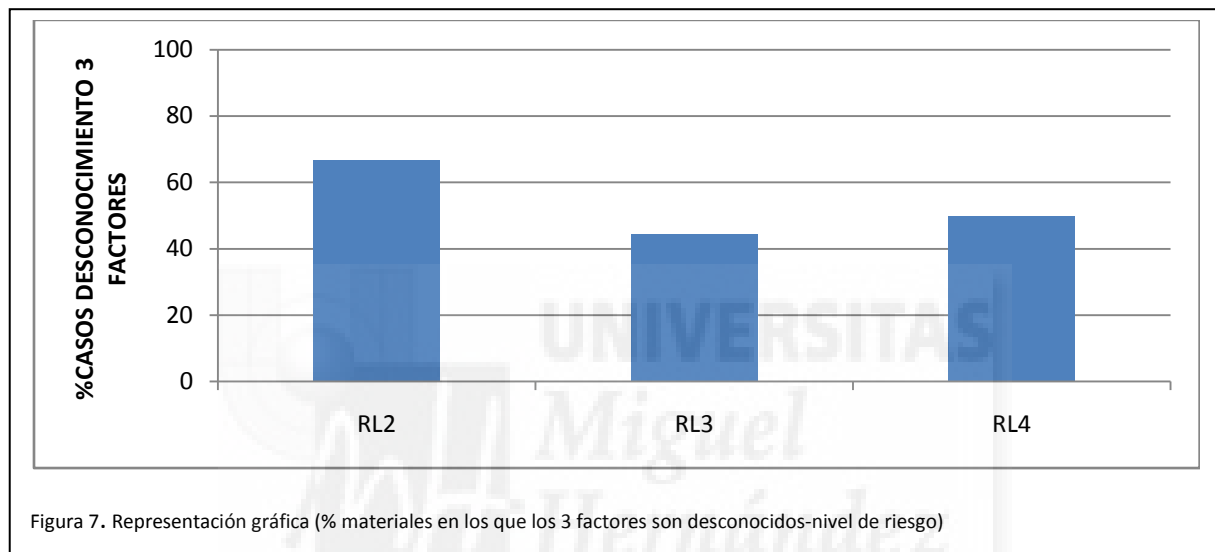
Aún así, los factores que según los autores mayor peso tienen en la puntuación global son precisamente los cuatro primeros (química superficial, forma de la partícula, diámetro y solubilidad) y la toxicidad del material padre, sumando entre todos el 50% del total. Solo uno de estos 4 es de los más desconocidos (Química superficial).

Con lo cual, podríamos descartar, en principio, que la falta de información sesgue el resultado en un sentido.

Aún así, ¿Qué peso tienen estos tres parámetros en el resultado de la evaluación de riesgo?

La puntuación relativa a la química superficial corresponde a un 10% de la puntuación de severidad total, Toxicidad para la reproducción y mutagenicidad constituyen un 12% e conjunto (6% cada una). En total, el desconocimiento de estos tres factores supone una influencia del 22% de la puntuación total de la severidad.

En el siguiente gráfico se compara el porcentaje de casos en los que se desconocían los tres parámetros para cada nivel de riesgo:



La tendencia todavía se decanta más hacia un resultado de evaluación de RL2. Es decir, a pesar de ser los tres factores que menos se conocen parecen no influir demasiado en el porcentaje global, en este estudio, parecen conducir a un RL2.

Los autores, como ya se ha mencionado, señalan 5 factores como los que mayor relevancia tienen en la toxicidad de la sustancia, ¿Acaso el desconocimiento de los otros parámetros podría tapan la peligrosidad de una sustancia? En la hoja de aplicación del método se puede estudiar fácilmente esta situación:

Cálculo de la puntuación de Severidad									
Nanopartícula									
Material	Química superficial	Forma	Diámetro	Solubilidad	Carcinogenicidad	Toxicidad para la reproducción	Mutagenicidad	Toxicidad dérmica	Capacidad de producir asma
	ALTA	FIBROSA O TUBULAR	1-10 nm	INSOLUBLE	DESCONOCIDA	DESCONOCIDA	DESCONOCIDA	DESCONOCIDA	DESCONOCIDA
Material padre									
Material	Toxicidad (VLA-ED)	Carcinogenicidad	Toxicidad para la reproducción	Mutagenicidad	Toxicidad dérmica	Capacidad de producir asma			
	<10µgm-3	Desconocido	Desconocido	Desconocido	Desconocido	Desconocido			
Calculo de la puntuación de probabilidad									
Material	Cantidad	Pulverulencia	Nº trabajadores exposición similar	Frecuencia de las operaciones	Duración de la operación				
	11-100 mg	ALTA	DESCONOCIDO	SEMANAL	MENOS DE 30 MIN				
RESULTADO EVALUACIÓN DEL RIESGO									
MATERIAL	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	NIVEL RIESGO ASOCIADO	MEDIDAS A TOMAR					
	MUY ALTA	PROBABLE	RL4	BUSCAR ASESORAMIENTO EXTERNO					

Figura 8. Resultado de introducir en la herramienta informática la peor situación en los cinco factores de mayor peso y desconocido en el resto.

Afortunadamente, conociendo los 5 factores más perjudiciales y desconociendo el resto, nos conduce al nivel de riesgo más alto.

¿A qué conduce desconocer los tres factores más desconocidos mencionados (química superficial, toxicidad para la reproducción y mutagenicidad, conociendo el resto en el peor de los casos?)

Afortunadamente, de nuevo, conduce al mismo resultado, nivel de riesgo 4, así pues podemos confirmar que, a pesar de que la tendencia en el mayor grado de desinformación era a asignar un RL2 según los resultados, podemos decir que no hay una causa concreta que decante el resultado en ese sentido.

El resumen de la investigación llevada a cabo se muestra en la siguiente tabla:

Aspecto investigado	Resultado
Perfil profesional	- Los investigadores desconocen muchos de los factores
	- También manifiestan dudas respecto a la solubilidad.
	- Manifiestan dudas respecto al factor relativo a Pulverulencia/capacidad de formar nieblas.
	- La puntuación obtenida no limita ningún nivel de riesgo. dependerá de la Severidad.
Análisis nanomateriales	- La mayoría de los nanomateriales (más del 50%) presentan un nivel de riesgo 3: confinamiento del área de trabajo
	- Aquellas sustancias en las que se desconoce mayor cantidad de información tienen asignado un nivel de riesgo 2.
	- Los factores que más se desconocen son la química superficial, la toxicidad para la reproducción y la mutagenicidad del nanomaterial.
	- No hay tendencias visibles en el método que conduzcan a un nivel determinado.

Tabla 11: Resumen de la investigación del método llevado a cabo por el autor.

6. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

- El método CB NANOTOOL 2.0 es un método práctico y eficiente a la hora de evaluar un puesto de trabajo del ámbito de la investigación, sin embargo, podría mejorar en algunos aspectos fundamentales que todavía harían más fiables sus pronósticos:
 - o Es necesario aclarar de forma adecuada el concepto de solubilidad de la nanopartícula, estableciendo la puntuación máxima a aquellas insolubles en agua pero liposolubles.
 - o Es necesario desambiguar los conceptos de Pulverulencia/Capacidad para formar nieblas. La niebla se define como pequeñas gotas de líquido que se generan por condensación de un estado gaseoso o por la desintegración de un estado líquido por atomización, ebullición, etc.
- En cualquier caso y tal y como se ha establecido, el método, independientemente de estas limitaciones permite realizar una evaluación cualitativa del riesgo de exposición a nanopartículas y tomar decisiones sobre las medidas preventivas de tipo colectivo necesarias para el control del riesgo, en ausencia de legislación específica o valores de referencia ambientales aplicables.
- En cuanto a la NTP 877, conviene que sea corregida para evitar confusiones a la hora de su aplicación. Un documento con tanta importancia para la seguridad como es una guía de evaluación de un riesgo no puede generar dudas.
- A la hora de aplicar el método en la investigación realizada así como de evaluar cada uno de los 17 materiales que han sido analizados a través del método, ha sido de vital importancia y eficacia la herramienta diseñada en la hoja de cálculo, permite ganar mucho tiempo y evitar errores accidentales a la hora de asignar puntuaciones. También el cuestionario ha permitido al investigado responder de forma clara y sin ambages facilitando así el trabajo del técnico que debe introducir la información en la hoja de cálculo.
- Es conveniente que se comience o continúe a realizar estudios sobre afección a la salud de diferentes nanomateriales usados y que más pronto que tarde estarán en el

mercado y en contacto con cualquier usuario. Las nuevas investigaciones en esta línea permitirán afinar y mejorar todavía más las estimaciones de riesgo del método.

7. LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.

Este trabajo ha tenido algunas limitaciones en su investigación. La más destacada es que no ha podido contar con una gran cantidad de investigadores dispuestos a colaborar con la evaluación del método, aspecto que es comprensible.

Pero más allá de desvalorar el TFM, éste puede constituir un primer paso en la investigación sobre seguridad en el uso de sustancias nanométricas en puestos de investigación que desemboquen en futuras publicaciones, enriqueciendo el método al establecer nuevas conclusiones y resultados más fundamentados.

Igualmente, el presente TFM puede constituir un punto de partida para desarrollar un método de evaluación basado en el NANOTOOL CB 2.0 y adaptado a perfiles de investigación de áreas concretas (química, física, medicina, etc.) creando así, herramientas mucho más específicas y por tanto, garantizando la seguridad de los trabajadores.

El autor, propone a la UMH que promueva una línea de investigación en este ámbito y de forma interna evalúe a sus investigadores en esta área de seguridad laboral, garantizando así la seguridad de este sector de trabajadores.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8.1 Bibliografía referida

[1]: REAL DECRETO 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. .

[2]: REAL DECRETO 337/2010, de 19 de marzo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención; el Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto, por el que se desarrolla la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el sector de la construcción y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción. BOE nº 71 23/03/2010.

[3]: Acuerdo de aprobación de la Normativa de los Trabajos Fin de Máster, regulados por el RD 1393/2007. <http://estudios.umh.es/files/2014/06/Normativa-Trabajo-Fin-de-M%C3%A1ster.pdf> (último acceso 22 de Mayo de 2016)

[4]: (Nanomateriales para aplicaciones avanzadas. Javier García Martínez, Gonzalo Abellán, Adela I. Carrillo, Noemi Linares. 2006)(Página 1)

[5]: Recomendación de la Comisión Europea de 18 de Octubre de 2011 relativa a la definición de nanomaterial (2011/696/UE). Pendiente de revisión.

[6]: Seguridad y Salud en el trabajo con nanomateriales. Madrid, abril 2015.P.8. Instituto nacional sobre seguridad e higiene en el trabajo. Centro nacional de verificación de maquinaria. M^aJosé Quintana San José et al.

[7]: Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Madrid, Octubre 2013.

[8]: REAL DECRETO 374/2001, de 6 de abril sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. BOE nº 104 01/05/2001

[9]: Brocal, F. (2014). Análisis de la NTP 877. Documento Interno del Servicio de Prevención de la universidad de Alicante.

[10]: Brocal, F. (2016). Proyecto de Integración de la NTP 877 en el software PREVEN-UA. Documento Interno del Servicio de Prevención de la universidad de Alicante.

[11]: NTP 877 “Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas”. 2010. Redactora: Celia Tanarro Gozalo.

[12] Paik et al. (PAIK SY, ZALK DM, P. SWUSTE (2008) “Application of a pilot control banding tool for risk assessment and control of nanoparticle exposures”)

8.2 Bibliografía consultada

- ALFONSO MELLADO, C., SALCEDO BELTRÁN, C, y ROSAT ANCED, I (COORD.)PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES: Instrumentos de aplicación3ª Edición TIRANT LO BLANCH 2012
- Manual práctico para la integración en la pyme de la gestión de riesgos derivados de la nanotecnología y los nanomateriales (nanobook 2). Noviembre 2013. www.tecnalia.com.
- Jornada Técnica. Nanotecnología y PRL. Nuevos desarrollos en la evaluación y control de la exposición laboral a nanomateriales: experiencias en el marco del proyecto LIFE NanoRISK. INSHT. Febrero 2014.