

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN RESPIRATORIA FRENTE A NANOMATERIALES

Ruiz Pérez, J.¹; Salcines Suárez, C.L.²; Valiente, R.³

¹ FREMAP, Mutua Colaboradora con la Seguridad Social nº61, 28221, Madrid

² Unidad de Prevención, Pabellón de Gobierno, Universidad de Cantabria, 39005, Santander

³ Dpto. Física Aplicada, Facultad de Ciencias, Univ. de Cantabria-IDIVAL, 39005, Santander

Palabras clave: *Nanomateriales, EPI, protección respiratoria, nanoprevención, ajuste facial*

1 INTRODUCCIÓN

La nanotecnología es una disciplina transversal que se dedica al diseño y manipulación de la materia a escala nanométrica. La relevancia que ha adquirido desde que Richard Feynman la introdujera de manera implícita a finales de 1959 en el Caltech (Instituto Tecnológico de California) ha sido tal, que la Comisión Europea la ha identificado como tecnología facilitadora esencial.

Dentro de esta especial atención que se le presta a nivel europeo y nacional (INSHT, 2015a), la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo reconoce la exposición laboral a los nanomateriales (NMs) como un riesgo emergente, es decir, nuevo y que va en aumento.

La principal vía de entrada que tienen estos agentes químicos en nuestro organismo, en forma de aerosol sólido o líquido, es la vía inhalatoria. Entre las diferentes medidas preventivas disponibles para proteger la salud del personal expuesto, los Equipos de Protección Respiratoria (EPR) representan la última barrera de contención en la jerarquía de control. Este trabajo, se centra en dar a conocer los criterios de selección de estos equipos, sin entrar a analizar cómo influyen en el comportamiento de los filtros, las propiedades fisicoquímicas de los NMs, tales como el área superficial, estado de agregación o aglomeración, estructura cristalina, morfología, solubilidad, propiedades superficiales y la composición química (incluyendo las funcionalizaciones o posibles impurezas adheridas).

Las organizaciones deben definir en sus evaluaciones de riesgos, los puestos de trabajo en los que ha de recurrirse a la protección individual y precisar, para cada uno de estos puestos, el riesgo o riesgos frente a los que debe ofrecerse protección, las partes del cuerpo a proteger y el tipo de Equipo de Protección Individual (EPI) que deberá utilizarse. En el

caso de los NMs, esta necesidad surge desde el momento en el que no se pueda garantizar que la exposición por vía inhalatoria es inferior a los Límites de Exposición Profesional (LEP), incluidos sus correspondientes límites de desviación. Igualmente, si se considera que con las medidas preventivas implantadas existen motivos razonables que hagan sospechar que los NMs puedan tener efectos potencialmente peligrosos para la salud de las personas, según los conocimientos científicos disponibles en cada momento, se recurrirá a EPR como medida de precaución adicional.

Un EPR se considera adecuado cuando tiene la capacidad de reducir la exposición del usuario a un nivel de riesgo aceptable (UNE, 2006). A día de hoy, la inexistencia de ensayos o normas armonizadas específicas para los NMs que permitan certificar a los EPR y otorgarles una presunción de conformidad, según los requisitos esenciales de salud y seguridad establecidos para su comercialización (Reglamento (UE) 2016/425 relativo a los equipos de protección individual, 2006), genera incertidumbre y desconfianza tanto entre el personal expuesto, como en las personas encargadas de garantizar la seguridad y salud de dicho personal.

Además, la selección de un EPR implica el estudio de la adaptación al uso que se le va a dar. Será necesario evaluar los factores que hagan al equipo compatible con el entorno, la tarea y los usuarios finales, los cuales deberán ser consultados e implicados en el proceso de selección por varios motivos:

- es una obligación legal (Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales, 1995);
- son los que mejor conocen el puesto de trabajo y las interferencias que pueden surgir con el proceso productivo;
- si varias personas realizan pruebas con diferentes modelos, podrán experimentar y evaluar variables

- subjetivas como la comodidad, facilidad en el uso, mantenimiento y descontaminación, incompatibilidades, etc., que a priori pudieran pasar desapercibidas;
- se aumentarán las posibilidades de que el EPR sea aceptado por el colectivo y, por lo tanto, que se vaya a utilizar durante todo el tiempo que exista exposición al riesgo.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha llevado a cabo una revisión de las publicaciones realizadas por instituciones de reconocido prestigio en materia de seguridad y salud, así como de publicaciones científicas y proyectos de investigación, con el objeto de analizar aquellos factores que deben estar presentes en el proceso de selección de un EPR, en el caso de que exista exposición a NMs.

2.1 EPR Adecuados frente a NMs

Los criterios de adecuación expuestos a continuación excluyen aquellas atmósferas peligrosas para la salud o la vida, bien sea por ausencia de oxígeno, presencia de gases asfixiantes o concentraciones ambientales de contaminantes químicos que puedan alcanzar el valor IDLH (siglas en inglés de uso habitual del IPVS, índice inmediatamente peligroso para la vida y la salud). Para este tipo de atmósferas, se deberá recurrir a la elección de equipos aislantes.

Un EPR ofrecerá la protección mínima requerida, cuando el cociente entre la concentración del contaminante fuera de la pieza facial y el LEP para ese contaminante resulte inferior al Factor de Protección Nominal (FPN) de dicho EPR. Garantizar que la selección es la adecuada, en general, no es una labor sencilla, pero en el caso de los NMs, reviste unas dificultades añadidas:

- La ausencia de LEP en España. Para alguno de estos agentes químicos, este problema se puede solventar acudiendo a los valores límite propuestos por entidades de reconocido prestigio, tales como National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), British Standard Institution (BSI), Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), etc.
- El desconocimiento de cómo influyen las propiedades fisicoquímicas de los NMs, en particular el tamaño, la carga y la forma, en la capacidad de penetración de los filtros (Yokel & MacPhail, 2011).

- La inexistencia de metodologías normalizadas que permitan efectuar mediciones en la zona de respiración de la persona trabajadora, siguiendo la estrategia para verificar la conformidad con los LEP, según la norma UNE-EN 689:2019 (UNE, 2019).

En la actualidad, se sigue avanzando en la propuesta de nuevas metodologías, como la técnica de evaluación NEAT 2.0 (Eastlake et al., 2016), la cual sigue los principios de las metodologías tradicionales en higiene industrial, por medio del empleo de muestreadores personales.

- La diferencia significativa existente entre las condiciones reales de trabajo y el FPN que se obtiene en condiciones ideales de laboratorio. Esta desviación se ha intentado minimizar por varios países, entre los que no se encuentra España, mediante la introducción de los Factores de Protección Asignados (FPA), que representan el nivel de protección respiratoria que, de manera realista, puede esperarse en el lugar de trabajo para un 95% de las personas trabajadoras, adecuadamente formadas y supervisadas, utilizando un EPR en buen estado de funcionamiento y ajustado correctamente (UNE, 2006). La determinación de los FPA difiere en función del organismo que haya realizado el estudio, aunque siempre son inferiores al FPN, según se muestra en la Tabla 1.

A pesar de todas estas dificultades, diferentes estudios han demostrado que los EPR que actualmente se comercializan, siguen manteniendo su eficacia con partículas de tamaño nanométrico (Golanski, Guillot, & Tardif, 2008). Este hecho se debe principalmente a que a medida que se reduce el tamaño de la partícula, cobran más importancia los mecanismos de filtración basados en la difusión browniana y las fuerzas electrostáticas, circunstancia que permite incluso aumentar la eficacia de los filtros respecto a las partículas de tamaño micrométrico (Chazelet S., 2013).

El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) recomienda, de forma general, el uso de equipos filtrantes de partículas de clase 3, optando por máscaras completas cuando se necesite reducir al máximo la posible fuga hacia el interior o se requiera cierta protección ocular. También propone la opción de equipos de ventilación asistida o presión positiva, sin especificar en qué tipo de trabajos serían adecuados (INSST, 2015b).

Tabla 1. Comparativa de los FPN de diferentes EPR, respecto a los FPA de Alemania, Reino Unido y Francia.

Norma	Clase	FPN	FPA		
			Alemania	UK	Francia
EN 149	FFP3	50	30	20	10
EN 140	P3	48	30	20	10
EN 136	P3	1000	400	40	30
EN 12941	TH3	500	100	40	40
EN 12942	TM3	2000	500	40	60

Nota Fuente: (UNE, 2006)

El Reino Unido, a través del Health and Safety Executive (HSE), aboga por la selección de máscaras completas con filtro P3 cuando los EPR sean la principal medida de control, salvo que el tiempo de utilización exceda de 1 h continuada, en cuyo caso se recomiendan los equipos filtrantes de ventilación asistida. Siempre que se empleen como control secundario en emergencias o derrames accidentales, o si se requiere protección adicional según lo indicado en la evaluación de riesgos, se optará por mascarillas autofiltrantes FFP3 o medias máscaras con filtro P3. Asimismo, propone para los nanotubos de carbono (NTC) y otros NMs biopersistentes de alta relación de aspecto (HARN, siglas en inglés de uso habitual de High Aspect Ratio Nanoparticles), la utilización de EPR con un FPA de 40 o superior (HSE, 2013). A su vez, NIOSH establece que la protección necesaria para los NTC y las nanofibras de carbono (NFC), se haga en función de la concentración (Tabla 2).

En Alemania, el BAuA, señala que, si se generan NMs en forma de polvo, se seleccionarán medias máscaras con filtros P2 o mascarillas autofiltrantes FFP2, siempre que no se supere el límite de exposición legalmente establecido para la fracción de polvo alveolar. En aquellos casos que se sobrepase, se optará por medias máscaras con filtros P3 o mascarillas autofiltrantes FFP3. También se elegirán estos últimos respiradores, en presencia de NMs biopersistentes fibrosos o con propiedades toxicológicas específicas, si los valores encontrados en las mediciones ambientales superasen el límite de detección. En el caso de tareas de larga duración, que sobrepasen el tiempo indicado en la norma alemana DGUV 112-190 (DGUV, 2011), proponen la selección de equipos filtrantes de ventilación asistida provistos de medias máscaras o máscaras completas (BauA, 2016).

Tabla 2. Protección respiratoria propuesta por NIOSH, para exposiciones a NTC y NFC.

Concentración en aire de NTC y NFC	Protección respiratoria mínima
1–10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media máscara elastomérica que tenga un filtro certificado (N, R, P) 95 o 100
	EPR de línea de aire comprimido con válvula a demanda y media máscara
$\leq 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	EPR de ventilación asistida con casco o capucha, y filtro de alta eficacia
	EPR de línea de aire comprimido de flujo continuo con casco o capucha
$\leq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Máscara completa con filtro (N, R, P) 100
	EPR de ventilación asistida con media máscara y filtro de alta eficacia
	EPR de línea de aire comprimido con válvula a demanda y máscara completa
	EPR de línea de aire comprimido de flujo continuo con media máscara
$\leq 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$	EPR autónomo con válvula a demanda de presión negativa con máscara completa
	EPR de línea de aire comprimido con válvula a demanda de presión positiva y máscara completa

Nota Fuente: (NIOSH, 2013)

En el marco del proyecto LIFE nanoRISK, se realiza una propuesta detallada a escala de laboratorio e industrial, sobre los EPR más adecuados en función de la tarea desarrollada, siempre que se complemente con equipos de protección dérmica, ocular y sistemas de ventilación por extracción (Tabla 3).

El Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) francés, plantea para trabajos con pequeñas exposiciones y de corta duración (limpieza de un horno, transferencia de una suspensión líquida, mantenimiento de una bomba, etc.), la utilización de mascarillas autofiltrantes FFP3 o bien, una media máscara o máscara completa con filtros P3. Si los trabajos durasen más de 1 h, aconsejan el empleo de equipos de ventilación asistida (Myriam Ricaud, Emmanuel Belut et Denis Bemer, & Dominique Thomas, 2014).

Por último, en Canadá, el Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail (IRSST) establece como criterio de selección, que en aquellas situaciones donde sea imposible efectuar una evaluación de riesgos cuantitativa, se opte por

equipos motorizados con un filtro P100 (Ostiguy, Debia, Roberge, & Dufresne, 2014).

Tabla 3. Protección respiratoria propuesta por LIFE nanoRISK, en función de los trabajos desarrollados.

EPR	Trabajos recomendados
Mascarillas autofiltrantes FFP3	Apertura y pesaje de pequeñas cantidades de NMs a escala laboratorio.
	Como medida de precaución en trabajos de limpieza y tareas parcialmente cerradas, como el sonicado y pesaje en campanas de extracción.
Medias máscaras con filtro P3	Pesaje NMs en forma de polvo (<500 g). Mecanizado con campanas de extracción: tamizado, aserrado y rectificado.
	En operaciones parcialmente confinadas: trasvase de NMs desde pequeños contenedores; mezclas en envases (<5 L); operaciones de embalaje en forma seca; operaciones de sonicación en entornos industriales. Operaciones generales de limpieza.
Máscaras completas con filtro P3	Pesaje NMs en forma de polvo (> 500 g). Mecanizado con sistemas de extracción móviles: tamizado, aserrado y rectificado. Descarga por gravedad desde tanques.
	En operaciones parcialmente confinadas: transferencia/vertido de NMs desde contenedores (> 500 g); sonicación en instalaciones industriales; mezclas en envases (>5 L); embalaje/llenado de bolsas en forma seca. Recogida de NMs después de la etapa de producción. Áreas de trabajo que contienen NMs aerotransportados libres.

Nota Fuente: (LIFE nanoRISK, 2016)

2.2 Factores de Adaptación de los EPR

Se analizan aquellos factores de adaptación, que han evidenciado que juegan un papel determinante en la eficacia de los EPR en presencia de NMs, o que puedan condicionar el resultado final del proceso de selección.

2.2.1 Ajuste Facial

Los EPR de presión negativa basan gran parte de su eficacia en el sellado hermético entre la piel del rostro y la pieza facial. La existencia de fugas hacia el interior en la zona de contacto, posibilita la entrada del aire contaminado, menoscabando así la protección esperada. Las principales causas de un ajuste facial deficiente son:

- talla o modelo no compatible con las dimensiones faciales;

- colocación del EPR sin seguir las instrucciones del fabricante;
- presencia de vello facial o peinados en la zona de sellado;
- malformaciones, arrugas profundas de la piel, acné severo, ausencia de dentadura o cicatrices importantes;
- utilización del EPR de forma conjunta con accesorios, otros EPI, gafas de graduación, etc.;
- gesticular de forma excesiva con la cara;
- temperaturas de trabajo inferiores a los 0 °C, que provoquen la pérdida de flexibilidad de los materiales elastoméricos (UNE, 2006).

Se ha observado, que un mal sellado entre el EPR y la piel, permite que las partículas de 30 a 1.000 nm penetren de 7 a 20 veces más por el sello facial que a través del filtro de una mascarilla autofiltrante N95 (Grinshpun et al., 2009). El INRS ha evidenciado que se puede obtener una relación de 100, entre el factor de protección de una máscara completa bien ajustada y la de la misma máscara desajustada, con respecto a las partículas de 50 nm de diámetro (Chazelet S., 2013). Igualmente, se ha comprobado que la presencia de vello facial en la zona de contacto con el EPR, provoca en las medias máscaras o mascarillas autofiltrantes, fugas superiores al 1% a partir de 7 días desde que se produce el afeitado, observándose este efecto a partir de las 24 h en la mayoría de los trabajadores ensayados (Frost & Harding MPhil, 2015).

Dentro del Proyecto NanoIMPULSA, también se ha corroborado la importancia que tiene el ajuste facial, en especial en las mascarillas autofiltrantes, concluyendo que es el ajuste y no la capacidad de filtración, el parámetro clave a tener en cuenta al trabajar con NMs (NanoIMPULSA, 2018).

Son varios los países (EE.UU., Australia, Canadá, etc.), que concedores de la influencia que tiene el ajuste facial, han establecido como obligatorias las pruebas de ajuste en el marco de un programa de protección respiratoria. Siguiendo esta tendencia, diferentes organismos europeos e internacionales, empiezan a recoger en sus publicaciones esta necesidad cuando se trabaja con NMs. Así, la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que, en ausencia de controles de ingeniería apropiados, se deben utilizar EPR como parte de un programa de protección respiratoria, que incluya pruebas de ajuste (WHO, 2017). En esta misma línea, la Comisión Europea plantea que todos los trabajadores que usen EPR, tienen que realizar estos

ensayos con el fin de garantizar un ajuste facial adecuado (European Commission, 2013). Del mismo modo, el INSST propone que antes de seleccionar un EPR, se deberían realizar pruebas de ajuste, para determinar el modelo y la talla que mejor se adapta a la cara del usuario, advirtiendo que con algunas mascarillas autofiltrantes no se consigue una buena hermeticidad (INSHT, 2015b). Respecto a este tipo de EPR, también el BAuA indica que solo proporcionarán un nivel de protección adecuado, si se utilizan correctamente y se han superado las pruebas de ajuste facial correspondientes (BauA, 2016).

Como muestra de la importancia de estas pruebas, se destaca un estudio llevado a cabo en España a 116 personas con mascarillas autofiltrantes FFP3. Solo el 7,8% lograron superar el ensayo de ajuste cuantitativo mediante conteo de partículas (FREMAP. Mutua Colaboradora con la Seguridad Social nº 61, 2011).

2.2.2 Ritmo de Trabajo y Estrés Térmico

El ritmo de trabajo elevado, conlleva un aumento en la frecuencia respiratoria y flujos de inhalación, lo que puede desencadenar una disminución del factor de protección de los EPR de presión negativa, independientemente de que exista un buen ajuste facial. Este hecho, se puede explicar por dos fenómenos: i) aumenta la depresión en la pieza facial, provocando un mayor paso del aire y, ii) la eficiencia de un filtro P3 disminuye con el incremento en el caudal filtrado (Chazelet S., 2013). Teniendo en cuenta lo anterior, será oportuno establecer por parte de las organizaciones, unos tiempos máximos de utilización en los filtros contra partículas reutilizables, antes de que los usuarios detecten un aumento en la resistencia a la respiración (UNE, 2010).

Los EPR de presión negativa, favorecen la acumulación excesiva de calor en nuestro organismo, lo cual genera incomodidad. Si estos equipos se utilizan en condiciones de estrés térmico por calor, de forma adicional se pueden originar riesgos importantes para la seguridad y salud de las personas trabajadoras. Además, en estos entornos laborales es habitual que los filtros se humedezcan, bien por el sudor, o por fuentes de agua externas, lo que conlleva un aumento de la penetración de NMs a través del filtro, al modificarse la carga electrostática de las fibras. Para atenuar este efecto, se debería optar por filtros que permanezcan encapsulados.

En función de lo expuesto en este apartado, en escenarios de estrés térmico por calor o con ritmos

de trabajo elevados (a excepción de ambientes extremadamente fríos), se recomienda la elección de equipos de ventilación asistida, tanto por el nivel de protección que se alcanza, como por la mejora en el confort, la seguridad y la salud de las personas.

2.2.3 Duración de Uso

Numerosas son las instituciones que recomiendan que en trabajos de larga duración se opte por equipos filtrantes motorizados, incluido el propio INSST. El HSE y el INRS son los organismos que le dan más relevancia a este factor, indicando el uso de equipos de ventilación asistida en tareas que se prolonguen más de 1 h (HSE, 2013; Myriam Ricaud et al., 2014). Concretamente, el INRS propone seleccionar equipos TH3 P (UNE, 1999a) o TM2 P, TM3 P (UNE, 1999b), con un caudal mínimo de suministro de aire de 160 L/min, en lugar de los 120 L/min exigidos por la norma, con el objeto de mantener en todo momento la presión positiva dentro del dispositivo. Cobrará especial importancia alcanzar este caudal, en trabajos donde la velocidad del viento pudiese superar los 2 m/s.

El BAuA en base a la normativa alemana (DGUV, 2011), plantea la elección de equipos de ventilación asistida si el tiempo de uso excede de 120 min para medias máscaras y 105 min para máscaras completas, pudiendo realizarse 3 intervenciones por turno de trabajo, con pausas de al menos 30 min entre cada intervención (BauA, 2016).

Finalmente, en laboratorios de investigación clasificados con un nivel de riesgo elevado, existe una propuesta para la selección de equipos de ventilación asistida, en los trabajos de manipulación de NMs que superen las 2 h (Groso, Petri-Fink, Rothen-Rutishauser, Hofmann, & Meyer, 2016). Esta duración de uso es coincidente con la que se ha acordado a nivel internacional para la exposición a cualquier agente químico (ISO, 2016).

2.2.4 Incompatibilidades con EPI o accesorios

En aquellos casos que se requiera la protección de otras partes del cuerpo, se seleccionarán EPI que sean compatibles entre sí.

La protección ocular o las gafas graduadas, presentan las principales interacciones con la protección respiratoria. En estos casos, se recomienda evaluar las siguientes soluciones técnicas:

- dar preferencia a los EPI que el fabricante proponga su adquisición de forma conjunta;
- si hay riesgo de salpicaduras, sustituir las gafas de montura universal o integral, por pantallas

faciales, máscaras completas o equipos de presión positiva con casco, capuz, etc.;

- en el caso de las gafas de graduación, existe la posibilidad de acoplar a las máscaras completas o a las gafas de montura integral, unos dispositivos sobre los que fijar los oculares graduados.

Otras incompatibilidades que deben ser analizadas, son las que se originan entre las máscaras completas y los cascos, orejeras o ropa de protección química (UNE, 2006).

2.2.5 Otros factores

Hay otros factores que, aunque no influyen de manera directa en la eficacia del EPR, pueden tener trascendencia en el resultado final del proceso de selección:

- Se deberá favorecer aquellos EPR que ofrezcan una mínima resistencia a la respiración, su peso sea más liviano, limiten en menor medida la visibilidad y no comprometan la comunicación verbal.
- La existencia de otros contaminantes químicos en forma de gas o vapor.
- En presencia de atmósferas potencialmente explosivas, bien sea por los propios NMs o por otros agentes presentes en el lugar de trabajo, los equipos motorizados dispondrán de certificación ATEX, acorde a la zona clasificada.
- La facilidad de limpieza y descontaminación. Aquellos equipos con un reducido número de componentes y en los que su reposición no revista una especial complejidad, serán la opción preferente.
- Cuando se precise usar duchas de descontaminación, antes de abandonar la zona de trabajo, los EPR deberán ser resistentes al agua. En equipos de ventilación asistida, se precisará al menos un grado de protección IP53.

3 RESULTADOS

En función de la peligrosidad de los NMs y su concentración, se debe decidir la protección mínima requerida que debe ofrecer un EPR. En el caso de los NMs, no resulta sencillo conocer dicha protección. Aplicando el principio de precaución, se recomienda como criterio para determinar si un equipo es el apropiado, manejar los FPA de Francia o Reino Unido, en lugar los FPN, y valorar las últimas recomendaciones propuestas por entidades de reconocido prestigio.

Las evidencias disponibles, no sugieren que la penetración de NMs a través del filtro sea el principal factor limitante en la eficacia de un EPR, existiendo un consenso generalizado por parte de diferentes organismos e instituciones, en la elección por defecto de filtros contra partículas de clase 3.

Se deberá prestar especial atención a las mascarillas autofiltrantes FFP3. Si bien presentan la ventaja de no precisar de ningún tipo de limpieza o mantenimiento (aquellas que sean no reutilizables), aspectos que en ciertos trabajos puede ser determinante, como contrapartida, se ha comprobado que el ajuste facial en este tipo de EPR puede condicionar su rendimiento significativamente. En consecuencia, la selección de mascarillas autofiltrantes FFP3 como medida de control principal, solo la recomendamos en trabajos esporádicos y de corta duración.

No existe un criterio uniforme a la hora de establecer cuál es el tiempo máximo de utilización de los EPR de presión negativa. El HSE o el INRS recomiendan la selección de EPR de ventilación asistida, con tiempos de uso superiores a 1 h continuada, aunque otras instituciones elevan este tiempo hasta 3 intervenciones de 120 min, con pausas intermedias de 30 min. Tal y como se muestra en la Tabla 4, consideramos que se alcanzaría una solución de compromiso entre la seguridad, la salud, el confort y la inversión económica que suponen estos equipos, a partir de las 2 h de utilización diaria en trabajos habituales. En el caso de no ser posible adquirir este tipo de equipos, se evaluarán los intervalos de trabajo y de descanso, programando las pausas y los tiempos de uso.

También, nos inclinamos por los equipos filtrantes motorizados, cuando no se haya alcanzado un buen ajuste facial con ningún EPR de presión negativa, con ritmos de trabajo elevados y en situaciones de exposición a estrés térmico por calor. En el caso de que sea necesario un nivel de protección elevado, se optará por equipos clasificados como TM3 P. En el resto de los casos, es preferible elegir aquellos cuyo adaptador facial sea un casco o capuz (TH3 P), debido a la comodidad que ofrecen.

No se han hallado discrepancias por parte de los diferentes organismos con competencias en materia de seguridad y salud, sobre la necesidad de efectuar pruebas de ajuste facial en el marco de un programa de protección respiratoria. Se espera, que la publicación de la norma ISO 16975-3:2017 (ISO, 2017), sirva de aliciente a las organizaciones, para que las

pruebas de ajuste facial se incluyan en los procesos de selección de EPR frente a NMs.

Tabla 4. Criterios de selección de EPR en función de la peligrosidad de los NMs, frecuencia y duración las tareas, el ritmo de trabajo o el estrés térmico.

Norma	Clase	Trabajos Recomendados
EN 149	FFP3	Trabajos esporádicos (< 2 h/d) Como medida de precaución adicional
EN 140	P3	Trabajos esporádicos (> 2 h/d) Trabajos habituales (< 2 h/d)
EN 136	P3	Trabajos habituales (< 2 h/d) NMs más peligrosos (p. ej. HARN)
EN 12941	TH3 P	Trabajos habituales (> 2 h/d) Trabajos con ritmo elevado o estrés térmico por calor
EN 12942	TM3 P	NMs más peligrosos (p. ej. HARN)

4 CONCLUSIONES

En el ámbito de la prevención de riesgos laborales, los NMs están catalogados como un riesgo emergente. Su entorno de manipulación ha trascendido del ámbito exclusivo de la investigación, y se encuentra actualmente en numerosos sectores de la actividad productiva y en bienes de consumo.

La principal vía de entrada de los NMs a nuestro organismo es la vía inhalatoria, por lo tanto, resulta imprescindible asegurarse que los EPR sean eficaces. La elección del tipo de EPR más adecuado, dependerá de la peligrosidad de los NMs manejados y de su concentración. Con las evidencias actuales, los filtros contra partículas de clase 3 han demostrado ofrecer un rendimiento adecuado. Sin embargo, se ha comprobado que el ajuste facial es el verdadero talón de Aquiles en la eficacia de los EPR, especialmente en las mascarillas autofiltrantes.

Diferentes organismos, entre los que se encuentran la OMS (WHO, 2017), la Comisión Europea (European Commission, 2013) o el INSST (INSHT, 2015b), recogen la necesidad de realizar pruebas de ajuste facial cuando existe exposición a NMs. En consecuencia, se deberán canalizar los esfuerzos, en llevar a cabo un proceso de selección de forma individualizada, mediante la realización de ensayos de ajuste (preferentemente cuantitativos), como parte de un programa de protección respiratoria, acorde con la norma UNE-EN 529:2006 (UNE, 2006), o bien con la reciente especificación técnica ISO/TS 16975-1:2016 (ISO, 2016). Dicho programa,

deberá analizar los diferentes factores de adaptación que hagan al EPR compatible con el entorno, la tarea y, sobre todo, con las personas trabajadoras, que serán consultadas e implicadas en el proceso de selección.

5 AGRADECIMIENTOS

Esta publicación es fruto del acuerdo de colaboración entre: FREMAP, Mutua Colaboradora de la Seguridad Social nº 61, Universidad de Cantabria (UC), Instituto de Investigación Sanitaria Valdecilla (IDIVAL) y la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BauA. (2016). *BekGS 527 Hergestellte Nanomaterialien*. Meckenheim.
- Chazelet S. (2013). *Performances des Appareils de Protection Respiratoire filtrants vis-à-vis des nanoparticules - Etude - INRS*.
- DGUV. (2011). *Benutzung von Atemschutzgeräten*. Berlin.
- Eastlake, A. C., Beaucham, C., Martinez, K. F., Dahm, M. M., Sparks, C., Hodson, L. L., & Geraci, C. L. (2016). Refinement of the Nanoparticle Emission Assessment Technique into the Nanomaterial Exposure Assessment Technique (NEAT 2.0). *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13(9), 708–717. <https://doi.org/10.1080/15459624.2016.1167278>
- European Commission. (2013). *Guidance on the protection of the health and safety of workers from the potential risks related to nanomaterials at work - Guidance for employers and health and safety practitioners*. Brussels.
- FREMAP. Mutua Colaboradora con la Seguridad Social nº 61. (2011). *Eficacia en la utilización de los equipos de protección respiratoria. Evaluación cuantitativa del ajuste facial en mascarillas autofiltrantes*. Madrid.
- Frost, S., & Harding MPhil, A.-H. (2015). *The effect of wearer stubble on the protection given by Filtering Facepieces Class 3 (FFP3) and Half Masks HSE Books Health and Safety Executive*.
- Golanski, L., Guillot, A., & Tardif, F. (2008). Are conventional protective devices such as fibrous filter media, cartridge for respirators, protective clothing and gloves also efficient for nanoaerosols? Efficiency of fibrous filters and personal protective equipments against nanoaerosols. *Filtration*, (January), 1–8.

- Grinshpun, S. A., Haruta, H., Eninger, R. M., Reponen, T., McKay, R. T., & Lee, S.-A. (2009). Performance of an N95 Filtering Facepiece Particulate Respirator and a Surgical Mask During Human Breathing: Two Pathways for Particle Penetration. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 6(10), 593–603. <https://doi.org/10.1080/15459620903120086>
- Groso, A., Petri-Fink, A., Rothen-Rutishauser, B., Hofmann, H., & Meyer, T. (2016). Engineered nanomaterials: Toward effective safety management in research laboratories. *Journal of Nanobiotechnology*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s12951-016-0169-x>
- HSE. (2013). *Using nanomaterials at work* (Vol. 272). Norwich .
- INSHT. (2015a). *Estrategia Española de Seguridad y Salud en el Trabajo 2015-2020*. Madrid.
- INSHT. (2015b). *Seguridad y salud en el trabajo con nanomateriales*. Madrid.
- ISO. (2016). *ISO/TS 16975-1:2016 - Respiratory protective devices -- Selection, use and maintenance -- Part 1: Establishing and implementing a respiratory protective device programme*. Geneva.
- ISO. (2017). *ISO 16975-3:2017 - Respiratory protective devices -- Selection, use and maintenance -- Part 3: Fit-testing procedures*. Geneva.
- Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales. (1995). Madrid.
- LIFE nanoRISK. (2016). *LIFE nanoRISK Best practices effectiveness, prevention and protection measures for control of risk posed by engineered nanomaterials*.
- Myriam Ricaud, S. C., Emmanuel Belut et Denis Bemer, I., & Dominique Thomas, C. N. (2014). *Nanomatériaux. Ventilation et filtration de l'air des lieux de travail*.
- NanoIMPULSA. (2018). *Guía de buenas prácticas para el uso seguro de nanomateriales*. Valencia.
- NIOSH. (2013). *Current Intelligence Bulletin 65. Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers*. Cincinnati, Ohio.
- Ostiguy, C., Debia, M., Roberge, B., & Dufresne, A. (2014). *Nanomatériaux - Guide de bonnes pratiques favorisant la gestion des risques en milieu de travail - 2e édition*.
- Reglamento (UE) 2016/425 relativo a los equipos de protección individual. (2006). Bruselas.
- UNE. (1999a). *UNE-EN 12941:1999. Equipos de protección respiratoria. Equipos filtrantes de ventilación asistida incorporados a un casco o capuz. Requisitos, ensayos, marcado*. Madrid.
- UNE. (1999b). *UNE-EN 12942:1999 Equipos de protección respiratoria. Equipos filtrantes de ventilación asistida provistos de máscaras o mascarillas. Requisitos, ensayos, marcado*. Madrid.
- UNE. (2006). *UNE-EN 529:2006 Equipos de protección respiratoria. Recomendaciones sobre selección, uso, cuidado y mantenimiento*. Madrid.
- UNE. (2010). *UNE-ISO/TR 12885:2010 IN. Nanotecnologías. Prácticas de seguridad y salud en lugares de trabajo relacionados con las nanotecnologías*. Madrid.
- UNE. (2019). *UNE-EN 689:2019+AC:2019. Exposición en el lugar de trabajo. Medición de la exposición por inhalación de agentes químicos. Estrategia para verificar la conformidad con los valores límite de exposición profesional*. Madrid.
- WHO. (2017). *WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials*. Geneva.
- Yokel, R. A., & MacPhail, R. C. (2011). Engineered nanomaterials: exposures, hazards, and risk prevention. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 6(1), 7. <https://doi.org/10.1186/1745-6673-6-7>