

## Variaciones de la percepción visual por la utilización de los Equipos de Protección Individual para intervenciones NRBQ

# VISIONES *limitadas*

En intervenciones realizadas en entornos de riesgo Nuclear-Radiológico-Biológico-Químico (NRBQ), como accidentes, catástrofes o atentados, existen riesgos derivados de las propias actuaciones en escenarios de alta peligrosidad como son las llevadas a cabo por el personal de SAMUR-Protección Civil, Bomberos, Guardia Civil, Unidad Militar de Emergencias del Ejército (UME) y otros Cuerpos de Seguridad del Estado.

Los equipos humanos preparados para intervenir en entornos NRBQ se incrementan anualmente en todos los servicios públicos implicados en tareas de seguridad y asistencia, debido al aumento de la producción y transporte de materiales peligrosos por actividades industriales, así como por el riesgo, ya percibido y asumido, de una mayor probabilidad de sufrir atentados terroristas con componente NRBQ. Por otro lado, la industria del sector de la seguridad genera constantemente nuevos Equipos de Protección Individual (EPI) para dar respuestas específicas a las particularidades que pueden plantearse en cada actuación, equipamientos que son testados en sus cualidades de protección y ergonomía, pero que siguen manteniendo los mismos patrones respecto a sus cualidades y cualidades ópticas.

Los EPIs están compuestos por máscaras y trajes que, según los niveles de protección, presentan diferentes características. En casos de protección de nivel I el traje no se superpone a la más-

Los Equipos de Protección Individual (EPI) preparados para entornos de riesgo NRBQ, que aíslan y protegen a los intervinientes en estas acciones, presentan importantes limitaciones para la percepción visual. En este artículo se estudia por primera vez cuál es el grado de afectación de las capacidades visuales de los usuarios cuando actúan protegidos por un EPI de este tipo.

Por CRISTINA BONNIN-ARIAS, JUAN JOSÉ NAVARRO-VALLS, LUIS LUCIO LOBATO-RINCÓN, GUILLERMO RAMÍREZ-MERCADO, CELIA SÁNCHEZ-RAMOS

cara; en cambio, en niveles II y III existe una superposición de superficies transparentes de la máscara y del traje de protección. Las características protectoras de los EPIs se estipulan en el documento titulado *Operational requirements, technical specifications and valuation criteria for CBRN protective clothing*, que describe las características técnicas de los materiales de protección corporal para uniformes NBQ (AEP-38), y que un equipo de expertos de la OTAN ha actualizado en 2008.

Los elementos visuales que forman parte de los distintos tipos de EPI están diseñados para proporcionar una protección segura ante los elementos químicos a los que va a ser expuesto (según su nivel de protección) y, además, deben proporcionar una capacidad visual suficiente para

la actividad que el interviniente debe desarrollar. Los EPIs, por sus condiciones de aislantes y protectores, presentan importantes limitaciones físicas que dan lugar a una percepción visual deficiente del entorno en el que se desenvuelve el interviniente. No debe olvidarse el análisis de elementos que pueden dañar la integridad del EPI, lo que repercutirá inmediatamente en la pérdida del aislamiento y seguridad del interviniente.

Por las características estructurales del EPI, las capacidades visuales principalmente afectadas serían la resolución espacial, la sensibilidad al contraste y la percepción del color (por la superposición de superficies transparentes sin calidad óptica), la amplitud del campo visual (por presentar los EPIs una zona limitada de medios transparentes y el resto del equi-



LatinStock



Intervinientes del SAMUR-Protección Civil en un simulacro de actuación en intervenciones NRBQ (Nuclear, Radiológico, Biológico, Químico).

po constituido por material opaco), y la estereopsis (por estar fabricados con materiales flexibles que forman pliegues que afectan a la visión binocular).

Estas cinco capacidades visuales son de vital importancia para una correcta percepción visual del entorno y, por tanto, para el desenvolvimiento del interviniente en el campo de actuación. En primer lugar, la resolución espacial o agudeza visual, que hace referencia a la capacidad del sistema óptico ocular de percibir de forma separada dos puntos ubicados uno al lado del otro, es indispensable para la visualización del detalle. En segundo lugar, la sensibilidad al contraste, definida como la capacidad de distinguir el límite entre dos objetos adyacentes, permite diferenciar el objeto del fondo. En tercer lugar, la percepción del color, que permite al interviniente detectar señales y alarmas luminosas cromáticas. En cuarto lugar, la amplitud del campo visual determina el área observable por el interviniente, ya que la estructura del traje no

permite aumentar el área de observación girando la cabeza. Y en quinta instancia, la estereopsis o percepción de la profundidad y relieve, necesaria para evaluar distancias y visión tridimensional.

No cabe duda de que la interposición de superficies transparentes, de materiales sin calidad óptica, afecta a la percepción visual, y más aún si éstas se superponen. Pero a este efecto se añade otro aún más determinante, que es el nivel de iluminación ambiente, ya que dependiendo de ese nivel el sistema óptico humano presenta capacidades visuales diferentes. Cuando las condiciones de iluminación son fotópicas (superior a  $10 \text{ cd/m}^2$ ), el ojo se encuentra adaptado a la luz y se comprueba una agudeza extraordinaria en la fovea, que decrece a la mitad en el borde de la mácula lútea y cae  $1/40$  del valor foveal en el resto de la retina. En cambio, en condiciones escotópicas (inferior a  $0,01 \text{ cd/m}^2$ ), y con el ojo adaptado a la oscuridad, la agudeza visual es nula en la fovea, comienza a su

alrededor y se mantiene a bajo nivel en el resto de la retina, aunque mayor que el correspondiente al de la visión diurna.

El uso de dispositivos de protección, necesarios para la actividad laboral de los intervinientes afecta a la percepción visual. A pesar de la extraordinaria importancia de este hecho, hasta la actualidad no se ha estudiado ni el grado de afectación de las capacidades visuales cuando las personas se protegen mediante los EPIs, ni el impacto de estos elementos en tareas como conducción de vehículos, búsqueda de supervivientes, tareas de desescombro, etc.

El estudio y valoración de las habilidades visuales permitirá conocer de forma real la calidad de la percepción visual cuando los intervinientes están vistiendo los EPIs. Por consiguiente, este conocimiento permitirá, por un lado, que ellos conozcan sus limitaciones visuales, y por otro, rediseñar los equipos para solventar, en la medida de lo posible, los déficit visuales.

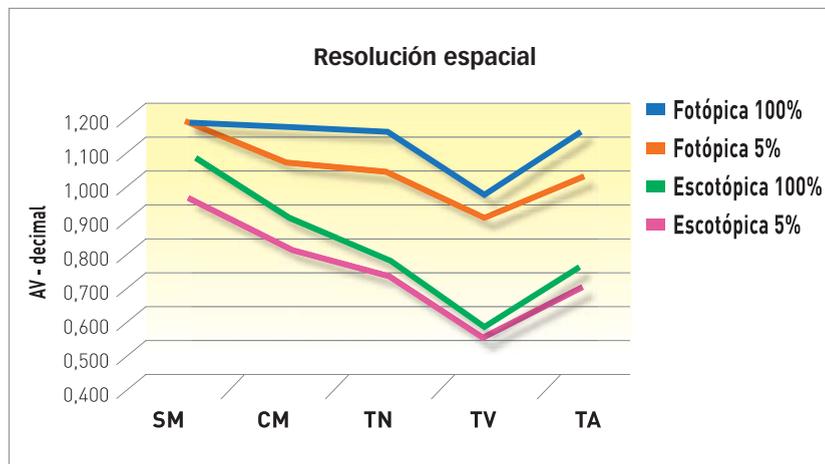
## Muestra, material y método

Para este estudio se evaluó a 36 sujetos de ambos sexos, miembros del equipo de SAMUR-Protección Civil Madrid, con un rango de edad comprendido entre 18-49 años y una edad media de  $30,8 \pm 8,1$  años, seleccionados al azar, de los cuales 24 son conductores habituales y 12 son personal auxiliar de la ambulancia, quienes pueden desempeñar, bajo diversas circunstancias, cualquiera de las funciones de conductor o auxiliar.

Los trajes utilizados fueron:

- DRÄGER CPS 5900. Para protección contra productos químicos industriales y agentes de guerra. Diseñado específicamente para operaciones de bajo riesgo, como realizar mediciones o trasvasar sustancias peligrosas en atmósferas no explosivas.

- DRAGER CPS 7900. Fabricado con D-MEX, material 7 de cinco capas, una capa de elastómero robusta y una capa de barrera resistente a sustancias químicas, tanto en el interior como en el exterior. Es retardante a la llama autoextinguible, posibilita los movimientos y el uso a bajas temperaturas, incluso el manejo de gases licuados, tales como amoníaco, a una temperatura de contacto de  $-80^{\circ}\text{C}$ . Visor anti-empañamiento y D-Connect.
- DRAGER TEAMMASTER PRO-ET. Fabricado con HIMEX. Se caracteriza por su resistencia química, mecánica y al *flash* de llamada. Protege de aerosoles y de sustancias peligrosas gaseosas, líquidas o sólidas. Certificado según EN 943, partes 1 y 2, cumple con la direc-



**Figura 1.** Resolución espacial en condiciones fotópicas y escotópicas para estímulos con contraste máximo y con contraste 5%. Los datos se refieren a 5 circunstancias distintas: SM-ojo desnudo; CM-con máscara protectora; TN-máscara y traje DRÄGER CPS 5900; TV-máscara y traje Tyquen TK STS; TA- máscara y traje DRAGER TEAMMASTER PRO-ET.



Preparación del interviniente del SAMUR-Protección Civil para la evaluación de la amplitud del campo visual en condiciones fotópicas.

tiva vfdB 08/01. Dotado con el sistema de ventilación RV PT 120 L que permite regular el flujo de aire, que reduce la humedad dentro del traje. Vida útil de diez años.

La caracterización del sistema visual se realizó bajo dos condiciones de iluminación por lo que, antes de iniciar las pruebas, se procedió a la adaptación del laboratorio del Grupo de Neuro-Computación y Neuro-Robótica de la UCM a condiciones fotópicas, en la fase I, y a condiciones escotópicas, en la fase II. El protocolo de valoración seguido fue el mismo para ambas fases, con una única salvedad de 20 minutos de adaptación a la oscuridad antes de iniciar las medidas de los parámetros visuales en la fase II.

La recogida de datos se inició con la anamnesis mediante un cuestionario estandarizado empleado en estudios sobre la función visual que realiza el grupo de investigación. Seguidamente se tomaron las medidas de la compensación óptica habitual de los sujetos con el frontofocómetro Humphrey Lens Analyzer 360 with Spexan, de la marca Zeiss.

Para la caracterización de la función visual de los individuos se realizaron las pruebas en las siguientes condiciones:

- Sin equipo de protección ni máscara (Control) - (SM)
- Solo con la máscara puesta - (CM)
- Con máscara y traje naranja - (TN)
- Con máscara y traje verde - (TV)
- Con máscara y traje azul - (TA)

En primer lugar, se determinó la resolución espacial o agudeza visual (AV) en visión lejana (VL), con contraste máximo y con contraste del 5%. La valoración se realizó de forma binocular y con el individuo ubicado a 6 metros del optotipo. Se recogieron los datos de agudeza visual en escala decimal.

La segunda variable analizada fue la sensibilidad al contraste (SC), realizada por medio del test retroiluminado CSV1000, que valora la SC para frecuencias espaciales de 3, 6, 12 y 18 c/°. La persona indicó, para cada frecuencia, la orientación (izquierda, derecha, arriba y sin franjas) de las fracciones de ondas sinusoidales que presenta el test en sucesivas circunferencias con contraste decreciente colocadas en filas, cada una para una frecuencia determinada.

En tercer lugar se valoró la amplitud del campo visual percibido, utilizando la pantalla tangente de Bjerrum. Para ello se coloca una pantalla de fieltro negro, plana, generalmente de 1 m<sup>2</sup>. En el centro se encuentra un punto de fijación blanco. A partir de él nacen unas líneas negras radiales, que indican los meridianos, y unas circulares, que indican el grado con respecto al punto de fijación. Muestran, además, la posición de la mancha ciega fisiológica, a cada lado. La persona se coloca a 1 metro de distancia, mirando permanentemente al punto de fijación, y el evaluador va recorriendo las líneas radiales con un estímulo móvil, de fuera hacia dentro, hasta que la persona evaluada indica que observa el estímulo.

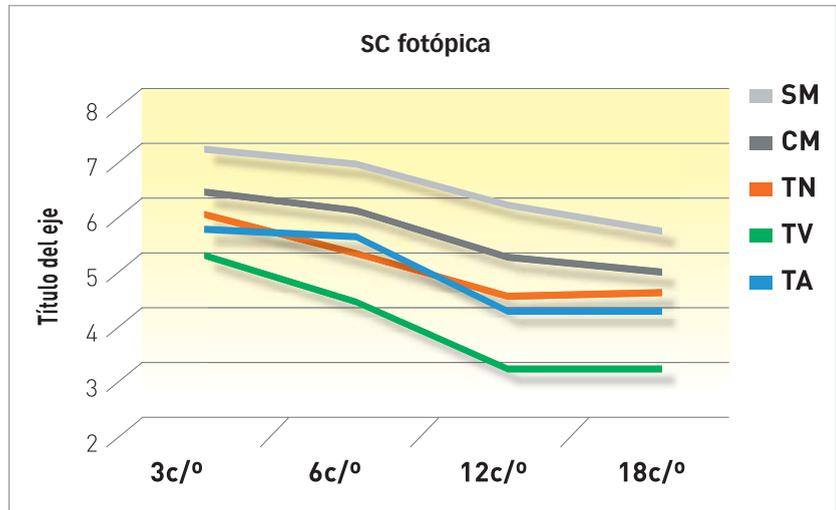


Figura 2. Función de sensibilidad al contraste en condiciones fotópicas. SM- ojo desnudo; CM-con máscara protectora; TN-máscara y traje DRÄGER CPS 5900; TV- máscara y traje Tyquen TK STS; TA- máscara y traje DRAGER TEAMMASTER PRO-ET.

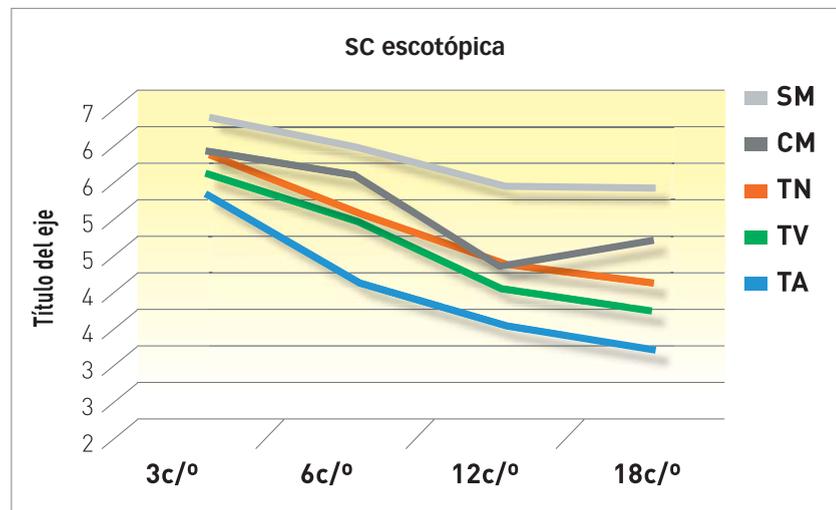


Figura 3. Función de sensibilidad al contraste en condiciones escotópicas. SM- ojo desnudo; CM-con máscara protectora; TN-máscara y traje DRÄGER CPS 5900; TV- máscara y traje Tyquen TK STS; TA- máscara y traje DRAGER TEAMMASTER PRO-ET.

Luego se evaluó la percepción del color con el test de Ishihara. Para ello el evaluador enseñó las láminas del test siguiendo las instrucciones del fabricante y el sujeto identificaba el número observado. Se anotaron los errores.

Finalmente se valoró la estereopsis con el test de Frisby, que consiste en un con-

junto de láminas transparentes de diferente espesor. En cada lámina se imprimen cuatro discos de puntos aleatorios, tres en la superficie anterior o posterior de la lámina, mientras que el cuarto se imprime siempre en la superficie opuesta. El espesor de la lámina crea una diferencia de profundidad que oscila en-

tre 15 y 340 segundos de arco, dependiendo de la distancia de observación. La tarea del observador es identificar qué disco se encuentra en una superficie diferente a la de los otros tres.

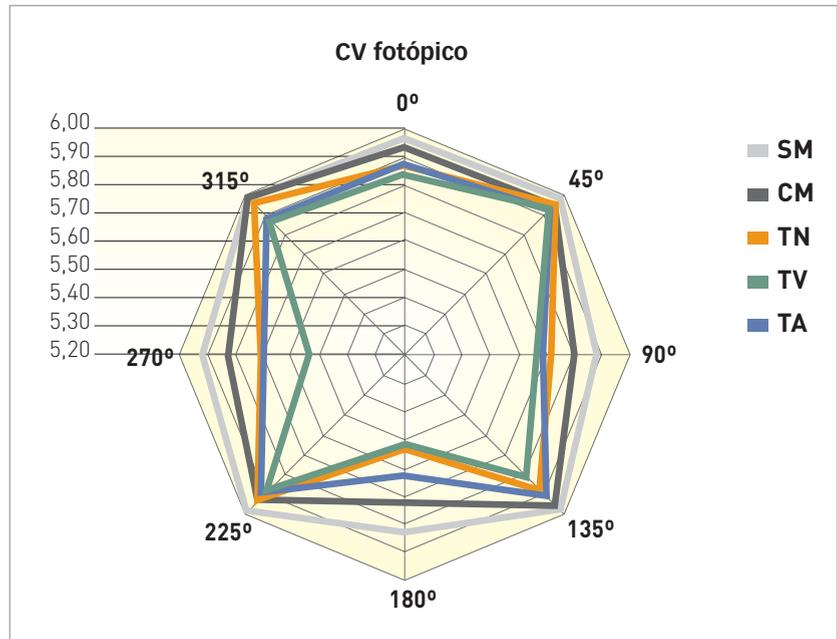
Por último se realizaron los análisis estadísticos necesarios para la determinación tanto del tamaño muestral como de los coeficientes descriptivos y comparativos útiles para obtener las conclusiones que se ofrecen en este trabajo.

## Resultados

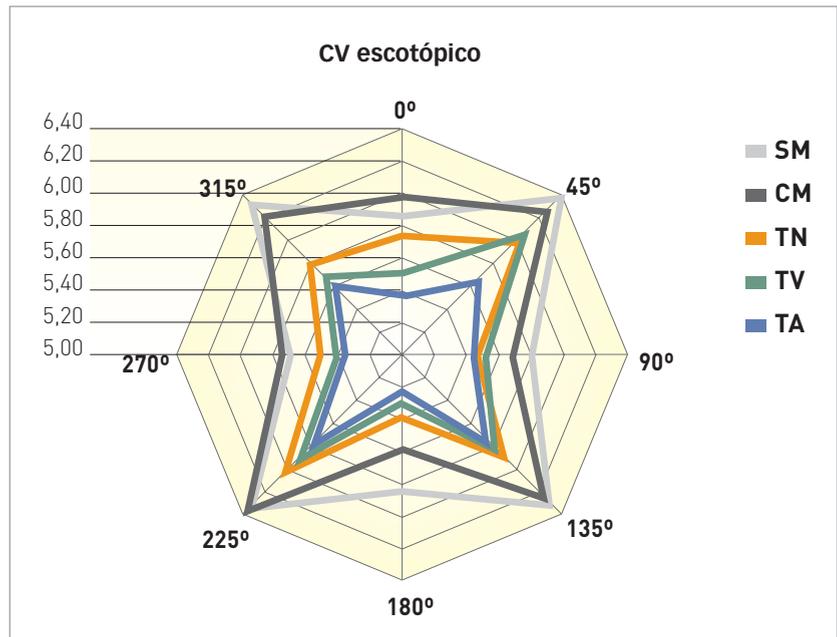
Con relación a la agudeza visual o resolución espacial, en la figura 1 se aprecia con claridad una disminución pseudoparalela para las condiciones de iluminación fotópica cuando el test presentaba un contraste unidad o un contraste del 5%. Además, se puede comprobar la similitud de los resultados cuando la interposición realizada era exclusivamente de la máscara. Sin embargo, la gráfica muestra la disparidad de los resultados al interponer, además de la máscara, los distintos trajes protectores. Las diferencias fueron significativas cuando los usuarios utilizaron la combinación de la máscara y el traje denominado TV (ver epígrafe de material y método).

Respecto a las condiciones escotópicas, los resultados muestran un resultado semejante. Las pérdidas en la capacidad de resolución de cada uno de los individuos en función de los distintos protectores oscilan entre el 30% y el 60%.

En las figuras 2 y 3 se aprecia con claridad la pérdida de sensibilidad al contraste para todas las frecuencias espaciales, tanto en condiciones de iluminación diurna como nocturna. Es importante reseñar la gran diferencia que existe, superior en algunos casos al 20%, en función del material y diseño del tipo de traje utilizado.



**Figura 4.** Amplitud del campo visual, para distintos meridianos, en condiciones de iluminación fotópicas. SM-ojo desnudo; CM-con máscara protectora; TN-máscara y traje DRÄGER CPS 5900; TV-máscara y traje Tyquen TK STS; TA- máscara y traje DRAGER TEAMMASTER PRO-ET.

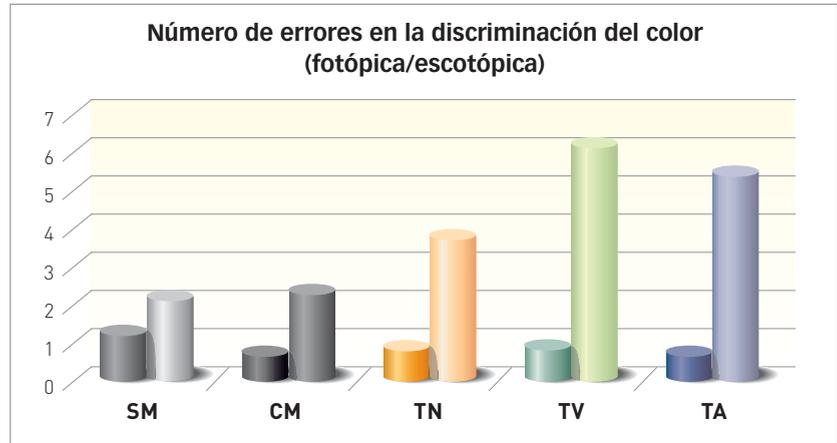


**Figura 5.** Amplitud del campo visual, para distintos meridianos, en condiciones de iluminación escotópicas. SM-ojo desnudo; CM-con máscara protectora; TN-máscara y traje DRÄGER CPS 5900; TV-máscara y traje Tyquen TK STS; TA- máscara y traje DRAGER TEAMMASTER PRO-ET.

Con relación a la amplitud del campo visual fotópico, en la figura 4 se muestran con claridad los polígonos concéntricos en los que se ratifican los resultados anteriores, revelando unas diferencias significativas dependientes de los EPIs utilizados. Los resultados son más acentuados en condiciones de baja iluminación.

En la figura 6 se muestran las respuestas en los dos niveles de iluminación cometidos por los intervinientes en la determinación del color. Se aprecia claramente la importante diferencia de la adición a la máscara de cualquiera de los trajes, con una mayor incidencia en condiciones de baja iluminación.

Por último, en la tabla 1, y con relación a la estereopsis, es interesante reseñar que la interposición exclusivamente de la máscara no disminuye la percepción de la profundidad y el relieve. Sin embargo, la adición de cualquiera de los trajes produce una disminución significativa en esta variable, que es de gran importancia en las acciones de rescate.



**Figura 6.** Número de errores en el test de discriminación del color de Ishiharas, en condiciones de iluminación fotópicas (barras oscuras) y escotópicas (barras claras). SM-ojo desnudo; CM-con máscara protectora; TN-máscara y traje DRÄGER CPS 5900; TV-máscara y traje Tyquen TK STS; TA- máscara y traje DRAGER TEAMMASTER PRO-ET.

	CM	TN	TV	TA
SM	0.253	0.035	0.001	0.004
CM		0.072	0.018	0.010
TN			0.250	0.303
TV				0.025

**Tabla 1.** Valores de estereopsis en segundos de arco para condiciones de iluminación fotópicas y mesópicas. SM-ojo desnudo; CM-con máscara protectora; TN-máscara y traje DRÄGER CPS 5900; TV-máscara y traje Tyquen TK STS; TA- máscara y traje DRAGER TEAMMASTER PRO-ET.



## Conclusiones

Las máscaras protectoras producen una disminución significativa en la sensibilidad al contraste, en la percepción del color escotópica y en la amplitud del campo visual. Sin embargo, en condiciones fotópicas no dificultan la resolución espacial ni la percepción del color.

Por otro lado, los EPIs producen disminuciones muy diferentes en función del diseño y material del traje, agudizadas por la interposición de la máscara.

Las cinco variables de la percepción visual estudiadas en este artículo se reducen de manera significativa por la necesaria protección de los intervinientes en entornos NRBQ. ♦