



Artículos técnicos

Más sobre mascarillas. ¿Pueden producir hipoxia o disconfort?

Santos Huertas

*Director del Área de Higiene Industrial
Dirección de Prevención de Asepeyo
<https://www.linkedin.com/in/santoshuertasrios>*

Introducción

Las mascarillas, durante esta pandemia, se están convirtiendo en un elemento de protección básico, con gran protagonismo y no siempre positivo, debido a la escasez de las mismas, el incumplimiento de la normativa de muchas de ellas al ser importadas, su posible reutilización y sistemas de desinfección, las discrepancias sobre su obligatoriedad y, últimamente, las dudas sobre los posibles efectos que pueden causar sobre los usuarios: ¿hipoxia, disconfort?

Por ello, desde el Centro de Innovación e Investigación de Asepeyo en Sant Cugat se decidió realizar un estudio sobre la posibilidad de que puedan causar hipoxia o disconfort, con el fin de asesorar, informar y sensibilizar a usuarios y empresas.

Metodología

Con dicho fin se planificaron mediciones del % de oxígeno, del % de dióxido de carbono, de la humedad relativa y de la temperatura dentro del espacio que hay entre la mascarilla y la cara del usuario. Y, por otro lado, también, se midió la saturación de oxígeno del personal que se puso las mascarillas, y sobre el que se hicieron las mediciones.

Equipos de medición

Para medir el % de oxígeno se utilizaron dos monitores de lectura directa IBRID MX6 de Industrial Scientific con 4 sensores (uno de ellos %VOL O2), y que cuentan con bomba de aspiración. Este equipo fue revisado y se procedió a la calibración de sus sensores con fecha 16-01-2020 por la empresa Casella.



Para la medición de dióxido de carbono (ppm), temperatura (°C) y humedad relativa (%) se utilizó un monitor de lectura directa Q-Trak de TSI Instruments. Este equipo fue revisado y se procedió a la calibración de sus sensores con fecha 24-02-2020 por Intecon.

Para medir la saturación de oxígeno en el dedo índice se utilizó una báscula KEITO que, entre otros parámetros, da el SPO_2 . Para comparar también se utilizó un pulsioxímetro portátil en forma de pinza para la medición en el dedo índice del oxígeno transportado por la hemoglobina en el interior de los vasos sanguíneos con métodos fotoeléctricos. Valores por encima del 95 %, en general, nos indica una buena saturación, dando un valor objetivo sobre la adecuada oxigenación.

Procedimiento de medición

Se probaron distintos tipos de mascarillas, con válvula y sin válvula de exhalación, mascarillas autofiltrantes (FFP1, FFP2 y FFP3), que cumplen con la UNE-EN 149:2001 + A1 2009, con distintas formas y, otras, como la KN95, máscara con filtros, mascarillas quirúrgicas y mascarillas higiénicas, con el fin de probar la mayor variedad de las mismas y analizar los resultados.

Las mediciones se realizaron sobre cinco usuarios distintos (3 hombres y 2 mujeres), con caras de distinta tipología, en 3 días y dos laboratorios diferentes. Estas personas no tienen problemas respiratorios y su estado de salud es bueno, con parámetros normales, no afectados por patologías que pudieran afectar los resultados de las medidas.

Los usuarios se colocaron y ajustaron la mascarilla para realizar las mediciones. Es personal que usualmente hacen estudios de test de ajuste cuantitativo de las mismas (Fit test con Portacount), con adecuada formación y práctica en el uso de mascarillas.

En todo momento se tomaron las medidas adecuadas para evitar posibles contagios por SARS-CoV-2: mantener distancia interpersonal en la medida de lo posible, uso de mascarillas quirúrgicas por el personal de apoyo, lavado de manos con gel hidroalcohólico y limpieza de superficies con solución de ácido láctico.

Se usaron distintos tubos de plástico (PVC y silicona) para realizar las mediciones, diferentes para cada usuario, no sólo para evitar contagios, sino también para ver si el tipo de tubo (diferentes materiales, longitud, etc.) podía influir sobre los resultados.

A cada una de las mascarillas se le acopla una sonda de muestreo metálica (puerto de muestreo) que permitirá obtener una muestra de aire del interior de la mascarilla mientras la lleva colocada la persona a la que se está haciendo la prueba. Normalmente, se recomienda colocar este puerto de muestreo en el centro, entre la nariz y la boca de la persona en mascarillas sin válvula, o a la derecha o izquierda de la válvula, cuando la tengan. No obstante, para ver la influencia de esta posición en los resultados se colocaron en distintos lugares de la mascarilla: parte superior, inferior, etc.

Esta sonda metálica sirvió para conectar mediante un tubo de plástico al monitor de lectura directa IBRID MX6 para realizar la medición de % VOL O_2 en el interior de la mascarilla, con la ayuda de la bomba de aspiración del equipo. Antes de empezar la medición se hace un cero de los sensores, con el O_2 a 20,9% y se verifica el correcto funcionamiento de la bomba de aspiración.

Para la medición de CO_2 , T y Hr con el Q-Track se introduce la sonda por debajo de la





mascarilla, intentando que no esté muy cerca de la nariz y la boca, más bien en la mejilla, e intentando después ajustar al máximo la mascarilla.

A la vez, se midió la saturación de oxígeno en el dedo índice de los usuarios que realizaron las pruebas.

Resultados de las mediciones

En la tabla siguiente se presentan los resultados obtenidos de la medición en el interior de los diferentes tipos de mascarillas y distintas personas con diferente tipología de cara. Las mediciones se realizaron hasta que se estabilizaban los resultados de la concentración de O₂ y CO₂ y los valores de T y Hr. Este proceso tardaba entre 5 y 10 minutos y se hizo con los usuarios de pie y respirando normalmente, sin hablar. El control de la saturación de O₂ se realizaba hacia el final de las mediciones, pero para comprobar las posibles variaciones también se llevaban a cabo antes de ponerse la mascarilla, al principio de las mediciones con mascarillas, durante y al final, no obteniéndose diferencias significativas y siempre por encima del 95 %.

Empezamos haciendo mediciones con mascarillas FFP3 en las peores condiciones y después fuimos cambiando para comparar y sacar conclusiones sobre los distintos parámetros.





Más sobre mascarillas. ¿Pueden producir hipoxia o discomfort?

Usuario	Descripción mascarilla	Concentración mínima % VOL O ₂ interior mascarilla	Valores ambientales CO ₂ (ppm), T (°C) y Hr (%)	CO ₂ (ppm), T (°C) y Hr (%)	Saturación O ₂ (%)	Observaciones
1(S)	Aura 9332+ FFP3 NR D 3M con válvula	17,4	607 23 68	>4.300 30 99	98	Se llegó a saturar el sensor de CO ₂
2 (X)	Aura 9332+ FFP3 NR D 3M con válvula	18,2	593 26,8 57,7	> 4.300 31 94	97	Se llegó a saturar el sensor de CO ₂
3 (M)	Aura 9332+ FFP2 NR D 3M con válvula	17,6	630 26 58,2	4.200 30,3 95,5	98	
1 (S)	Zet Mask FFP2 NR D con válvula	17,4	630 27 56,3	> 5.100 30 90,5	98	Se llegó a saturar el sensor de CO ₂
1 (S)	Aura 9312+ FFP1 NR D con válvula	17,3	634 26,5 58,3	>5.100 29,6 90	99	
1 (S)	Mascarilla 4277 tipo mosca con filtro ABEKP2	18,7	625 27 59	>4.100 30,3 90	98	Se llegó a saturar el sensor de CO ₂
1 (S)	Mascarilla 3M 8210 de copa, N95, sin válvula	17,6	599 26,7 62	1.310 29,4 85,2	98	
1 (S)	Mascarilla FFP3 HY9330 sin válvula	18,1	652 23,8 63,2	1.520 26,3 99,6	98	
4 (R)	Mascarilla KN95, sin válvula	18,1	655 24,7 60,2	5.443 28,4 92,2	97	
3 (M)	Mascarilla KN95, sin válvula	18,1	670 24 61,3	951 27,2 87	97	
3 (M)	Aura 9332+ FFP3 NR D 3M con válvula	17,3	573 22,4 64,8	3.000 30 99,5	99	
3 (M)	Aura 9332+ FFP3 NR D 3M con válvula	17,7	590 23 65	2.800 30 97	98	Con tubo de silicona más corto, mismo diámetro
3 (M)	Aura 9312+ FFP1 NR D con válvula	17,3	599 24 66,7	1.596 30 97,7	98	
3(M)	KN 95 sin válvula	17,2	602 25,5 75	2.423 30 100	99	Se llegó a saturar el sensor de CO ₂
3 (M)	Zet Mask FFP2 NR D con válvula	17,2	653 23,5 61	1.300 30,5 96	98	
3 (M)	Aura 9332+ FFP3 NR D 3M con válvula	17,2	678 22,9 67	2.062 30 100	99	
3 (M)	Mascarilla quirúrgica	18	679 23 65	1.400 28,6 96,6	98	
3 (M)	Máscara Scott con 2 filtros P3R	19,7	590 23,9 59,8	>5.000 29,9 99,3	97	Se llegó a saturar el sensor de CO ₂
5 (C)	Mascarilla higiénica con tejido antiviral y filtro	17,5	536 23,6 61,2	670 25,3 70,3	98	

Nota: en usuario, se indica el número de usuario (1-5) y la inicial del nombre.



Criterios de valoración

A continuación, se indican una serie de valores para poder valorar los resultados de las mediciones y los posibles efectos para las personas o sobre la calidad del aire:

CONTENIDO DE OXÍGENO (Volumen en %). EFECTOS Y SÍNTOMAS

- 21 % Nivel normal de oxígeno en el aire.
- 20,5 % Nivel mínimo para entrar sin equipos con suministro de aire.
- 19,5 % Nivel de alarma para el cual están calibrados la mayoría de equipos de detección de deficiencia de oxígeno.
- 19 % Con ejercicio moderado, elevación del volumen respiratorio.
- 18 % Aceleración ritmo respiratorio. Problemas de coordinación muscular.
- 17 % Dificultad respiratoria, síntomas de malestar, riesgo de pérdida de conocimiento sin signo precursor.
- 14-16 % Aumento del ritmo respiratorio y cardíaco. Puede perjudicar la coordinación muscular. Fatiga rápida. Limitación de las capacidades físicas y psíquicas. Respiración intermitente.
- 11-13 % Peligro inminente para la vida. Rápida pérdida de conocimiento y muerte. Sensación de calor en cara y miembros.
- 10-12 % Mayor aumento del ritmo respiratorio, razonamiento pobre y labios azules.
- 6-10% Fallo mental, mareos, pérdida de la conciencia sin signo precursor, palidez, labios azulados, náuseas y vómitos. En 8 minutos muerte del 100 % de los casos. En 6 minutos, muerte del 50 % de los casos. En 4-5 minutos posible recuperación con tratamiento.
- 4-6% Coma en 40 segundos, respiración espasmódica, convulsiones, parada respiratoria y muerte.
- 0% Inconsciencia en 2 inhalaciones. Muerte rápida.

Advertencia: Las concentraciones bajas de oxígeno provocan normalmente desvanecimientos casi instantáneos sin signos previos que adviertan del peligro.

Normalmente se pueden dar casos de deficiencia de O_2 en espacios confinados.

CONTENIDO DE DIÓXIDO DE CARBONO (Volumen en %)

El dióxido de carbono es un asfixiante simple que actúa básicamente por desplazamiento del oxígeno y que, a elevadas concentraciones (>30.000 ppm), puede causar dolor de cabeza, mareos, somnolencia y problemas respiratorios, dependiendo de la concentración y de la duración de la exposición.

- VLA-ED: 5.000 ppm
- VLA-EC: 15.000 ppm (VLA-ED*3)
- IPVS (Valor inmediatamente peligroso para la vida y la salud): 50.000 ppm



En la Guía del INSST de lugares de trabajo en cuanto a la calidad del aire, considerando la tasa de generación del CO₂ de una persona en reposo es conocida y es proporcional a la actividad metabólica. Dicha concentración se establece en, aproximadamente, 1.000 ppm (a partir de este valor la calidad de aire no es adecuada, pero no es sinónimo de efectos adversos para la salud de los trabajadores, sino más bien problemas de discomfort) o, mejor expresado, entre 600 y 700 ppm de CO₂ por encima de la concentración normal en el aire, que es de 330 ppm.

En la NTP 742 del INSST se identifica el aire de mala calidad a partir de 1.200 ppm.

El CO₂ a altas concentraciones produce efectos fisiológicos como:

- Un 2 % (20.000 ppm) en volumen produce alteración del ritmo respiratorio.
- Un 3 % (30.000 ppm), ligera narcosis y disminución de agudeza visual.
- Un 5 % (50.000 ppm), dificultad respiratoria notable, y dolores de cabeza.

A concentraciones mayores los efectos se suman a los correspondientes al empobrecimiento de oxígeno que conllevan.

TEMPERATURA:

En los locales de trabajo cerrados deberán cumplirse, en particular, las siguientes condiciones: la temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27 °C. La temperatura de los locales donde se realicen trabajos ligeros estará comprendida entre 14 y 25 °C (Real Decreto 486/1997).

HUMEDAD RELATIVA:

La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70 por 100, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática, en los que el límite inferior será el 50 por 100 (Real Decreto 486/1997).

Nota: los criterios de valoración de CO₂, T y Hr, no son directamente aplicables a estas mediciones pero nos pueden ayudar a realizar una valoración aproximada.

SATURACIÓN DE OXÍGENO:

Se considera normal, en términos generales, a partir del 95 %.

Análisis de los resultados

Consideraciones sobre la respiración:

Partimos de la base de que un pulmón humano puede almacenar alrededor de 4,6 litros de aire en su interior, pero una cantidad significativamente menor es la que se inhala y exhala durante la respiración (500 ml).

Una persona en reposo realiza 12 respiraciones por minuto. Si en cada entrada y salida de aire moviliza 500 ml, en un minuto movilizará 6.000 ml.

En condiciones de reposo y respiración normal una persona sana, sin patologías respiratorias, consume unos 250 ml de oxígeno y produce unos 200 ml de dióxido de carbono.

La relación R = producción de O₂/ consumo de CO₂ se denomina cociente respiratorio y, habitualmente, se considera un valor de 0,8 en reposo y 1,0 haciendo ejercicio. Por tanto, en reposo, el aire que exhalamos siempre tiene más CO₂.



Análisis de las mediciones

- Como se puede observar en el cuadro con las mediciones la gran mayoría dan valores por debajo del 18 % de O_2 , con mínimos del 17,2 % y máximos del 19,7 %.
- En cuanto a las mascarillas autofiltrantes con válvula de exhalación o sin válvula de exhalación (FFP1, FFP2, FFP3 y KN 95), las mediciones de O_2 están entre el 17,2 % y el 18,2 %. No hay diferencias significativas entre las que llevan válvula y las que no.
- La mascarilla 4277, tipo mosca, con filtro ABEKP2, que no es la típica autofiltrante, da un valor del 18,7%, más elevado que las demás. Igual ocurre con la máscara Scott con 2 filtros P3R (19,7%).
- Incluso en los ensayos realizados con mascarillas quirúrgicas (18 %) e higiénicas (17,5 %) dan valores bajos de O_2 .
- Analizando los resultados, se puede concluir que no hay diferencias significativas en cuanto a las mediciones de O_2 en las mascarillas autofiltrantes si son FFP1, FFP2, FFP3, KN95 e incluso higiénicas y quirúrgicas. Tampoco influye ni la forma ni dónde se coloca la sonda de muestreo.
- Para ver el efecto de la inspiración y la exhalación en el % de O_2 , hicimos otras mediciones, constatando, en según qué casos, que al inspirar podíamos llegar a valores de 20,5 % de O_2 y al exhalar 18,4 % (respiración profunda). Con mínimos del 17,7 % y máximos del 18,2 %. También dependía de si el usuario hablaba o de si la respiración era normal o profunda.
- Respecto a los valores de CO_2 , son bastante repetitivos, salvo algunas excepciones, dando valores de CO_2 superiores a 1.500 ppm, y en muchas ocasiones se saturaba el sensor con valores superiores a 6.000 ppm.
- En cuanto a la T y Hr, en la mayoría de los casos hay aumentos de temperatura hasta los 30°C y 100 % de humedad relativa al exhalar. Se consideran valores normales porque es el aire proveniente de nuestros pulmones y saturado con vapor de agua.
- En la mascarilla higiénica los valores no han tenido gran variación por el tipo de tejido y su falta de ajuste.
- Como se puede apreciar, en todos los casos la saturación de oxígeno ha sido normal, superior al 95 %, por lo que no hay evidencias de hipoxia.

Conclusiones

Del análisis de los resultados de las diferentes mediciones realizadas (O_2 , CO_2 , T, Hr y la saturación de O_2 en sangre) y de las características de la respiración, **¿concluimos que se pueden producir casos de hipoxia, o más bien algún caso de discomfort?**

Hay dos evidencias muy claras que descartan los casos de hipoxia: los resultados de la saturación de oxígeno, que nos da un dato más exacto del estado de oxigenación que las mediciones ambientales del aire exhalado en el espacio pequeño entre la mascarilla y la cara y, por otro lado, que ni los trabajadores que usan habitualmente mascarillas FFP3, por ejemplo en trabajos con sílice cristalina, ni los sanitarios que durante esta pandemia han tenido que trabajar hasta 6 h o más, seguidas, con mascarillas, en ocasiones con mascarilla quirúrgica encima y con otros EPIs en condiciones de temperatura y humedad bastante penosas, no se han dado casos de hipoxia. Hay que valorar y agradecer el trabajo de los sanitarios que realizaron sus tareas en unas condiciones que, en situaciones normales, no recomendaríamos en ningún caso, ya que, habitualmente recomendamos que se usen mascarillas autofiltrantes con descansos de 30 minutos cada 2 h.



Entonces, **¿cómo se explica que con los resultados de las mediciones por debajo del 18 % de oxígeno no se produzca hipoxia?**

Las mediciones realizadas son, principalmente, del aire exhalado de un pequeño volumen que hay entre la mascarilla y la cara del usuario. Por otro lado, indicábamos que en condiciones normales de respiración el aire exhalado tiene ligeramente una mayor concentración de CO₂ que de O₂ (R=0,8). Además, el vapor de agua y el CO₂ exhalado actúan desplazando el oxígeno. Pero hay que recordar que las mascarillas autofiltrantes, por sus características, filtran partículas pero dejan pasar el O₂ y CO₂, ya que son gases, tanto hacia el exterior de la mascarilla como hacia el interior.

La clave es que al inspirar, aparte de este pequeño volumen de aire que medimos entre la mascarilla y la cara, vamos a coger aire del exterior de la mascarilla, un promedio en total de 500 ml. Por tanto, el porcentaje de aire “viciado” que vamos a inspirar es despreciable respecto al total de cada inspiración. Y más si recordamos que una persona en reposo realiza 12 respiraciones por minuto. Si en cada entrada y salida de aire moviliza 500 ml, en un minuto movilizará 6.000 ml, siendo el aire inspirado con poco oxígeno y mayor concentración de CO₂ respecto al total, prácticamente despreciable y ello se confirma con los datos de saturación de O₂, siempre normales.

¿Por qué me cuesta respirar a través de las mascarillas, sobre todo cuando uso las autofiltrantes?

Hay que tener en cuenta que cuando usamos las mascarillas autofiltrantes deben estar ajustadas perfectamente para ser eficaces y, hay que hacer un “esfuerzo” a la hora de respirar para hacer pasar el aire inhalado a través del filtro. Pero para regular este hecho, tanto la resistencia a la exhalación como a la inhalación, estas mascarillas autofiltrantes deben pasar unos ensayos según la Norma UNE-EN 149:2001, teniendo en cuenta si tienen válvula o no. Son los ensayos de respirabilidad.

También se hacen ensayos del contenido de CO₂ en el aire de inhalación (espacio muerto) que no debe exceder de un promedio del 1 % (10.000 ppm).

Con el cumplimiento de la Norma se garantizan unos mínimos en cuanto a la respirabilidad y concentración de CO₂, que favorece nuestra comodidad en la respiración.

Evidentemente las mascarillas autofiltrantes, por sus características y necesidad de ajuste, requieren un mayor “esfuerzo al respirar” que las mascarillas quirúrgicas (Norma UNE-EN 14683:2019+AC:2019) e higiénicas (UNE 0064-1:2020 para las reutilizables y UNE 0065-1:2020 para las higiénicas reutilizables), que también son sometidas a ensayos de respirabilidad en sus respectivas Normas, pero por sus características y porque no ajustan tanto a la cara tienen una menor resistencia al paso de los gases y el aire y, por tanto, son más cómodas. Por ello, se recomienda a la población en general, con el fin de no contagiar, el uso de mascarillas quirúrgicas e higiénicas y no las autofiltrantes ni las KN95.

Otro hecho importante a tener en cuenta son las mascarillas autofiltrantes que no cumplen con la Norma UNE-EN 149:2001, ya que si no pasan las pruebas de respirabilidad no se puede garantizar que no sobrepasen los límites establecidos en cuanto a las presiones máximas que deben cumplir, por lo que puede llevar un mayor esfuerzo al respirar y mayor incomodidad.

Pero, ¿pueden darse dolores de cabeza, dificultad respiratoria e incomodidad al usar las mascarillas?

Efectivamente, aunque no se puede generalizar, en función del tipo de mascarilla usada se pueden dar diferentes tipos de molestias, especialmente con las autofiltrantes. Por ello se desaconsejan para el uso de la población en general.



Las mascarillas quirúrgicas e higiénicas también pueden producir estos efectos, aunque es más difícil, porque el ajuste no es tan exigente, pero la sensación de respirar a través de una barrera física, el calor producido por el aire espirado y la humedad, puede causar, en determinadas personas, disconfort, dolores de cabeza, cansancio, sensación leve de ahogo, etc., aunque, **siempre como casos leves y nunca atribuibles a la falta de oxígeno**. Por ello, se recomienda hacer pequeños descansos y quitárselas por unos instantes, cuando sea posible, siempre que no comprometa la distancia interpersonal, al aire libre, en lugares bien ventilados o en ausencia de otras personas.

También se pueden atribuir estos efectos a factores psicossomáticos.

Todas estas consideraciones tienen validez para la población sana, nunca para personas con problemas respiratorios que estarían exentas de llevar mascarillas.

Bibliografía:

- West, J.B. (2008). «Ch.7 Mechanics of breathing 1999». Respiratory physiology: the essentials. Lippincott Williams & Wilkins. ISBN 0-7817-7206-0.
- [https://www.who.int/publications/i/item/advice-on-the-use-of-masks-in-the-community-during-home-care-and-in-healthcare-settings-in-the-context-of-the-novel-coronavirus-\(2019-ncov\)-outbreak](https://www.who.int/publications/i/item/advice-on-the-use-of-masks-in-the-community-during-home-care-and-in-healthcare-settings-in-the-context-of-the-novel-coronavirus-(2019-ncov)-outbreak)
- INSST. Guía técnica para la evaluación y la prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo
- INSST. NTP 742: Ventilación general de edificios.
- AENOR. UNE-EN 149:2001+A1:2010. Dispositivos de protección respiratoria. Medias máscaras filtrantes de protección contra partículas. Requisitos, ensayos, marcado.
- OSALAN. Seguridad en espacios confinados. Guía para la prevención de riesgos laborales en el mantenimiento de redes de alcantarillado. 2ª edición.
- <https://www.fisterra.com/material/tecnicas/pulsioximetria/pulsioximetria.pdf>