

La química contra la transmisión de la COVID-19

Un recurso eficaz y didáctico

Fernando Ignacio Prada Pérez de Azpeitia

Resumen: Para combatir eficazmente la propagación del coronavirus SARS-CoV-2 entre la población, la OMS recomienda utilizar productos desinfectantes presentes en la mayoría de los hogares, como alcohol etílico, jabón, lejía y agua oxigenada, así como el uso de mascarillas. La investigación de la composición, concentración, características y modo de actuación de las sustancias químicas que constituyen estos productos es un oportuno recurso didáctico que permite a los estudiantes comprobar las implicaciones de la química en la salud y el bienestar de la sociedad de una forma práctica y aplicada.

Palabras clave: química y COVID-19, desinfectantes y coronavirus, jabón, gel hidroalcohólico, mascarillas.

Abstract: To effectively combat the spread of SARS-CoV-2 coronavirus among the population, WHO recommends using disinfectant products, such as ethyl alcohol, soap, bleach and hydrogen peroxide, which are to be found in most homes, as well as the use of face masks. The analysis of the composition, concentration, characteristics and mode of action of the chemical substances that constitute these products is an opportune didactic resource that enables students to check the effects of chemistry on the health and well-being of society in a practical and applied manner.

Keywords: chemistry and COVID-19, disinfectants and coronavirus, soap, hydroalcoholic gel, face masks.

*A nivel molecular, el jabón actúa rompiendo estructuras.
A nivel social, ayuda a mantenerlo todo unido.*
F. JABR, *The New York Times*, marzo de 2020.

INTRODUCCIÓN

En diciembre de 2019, la Comisión Municipal de Salud y Sanidad de Wuhan (China) informó a la OMS de un brote de neumonía de origen desconocido en un mercado mayorista de animales vivos. El agente causante de este brote, identificado como un nuevo virus de la familia de los Coronaviridae, se denominó SARS-CoV-2 (de las siglas en inglés de Síndrome Agudo Respiratorio Grave), cuyo cuadro clínico se identifica como la enfermedad COVID-19.

La transmisión del virus entre personas se puede producir por diferentes vías:

- Indirectamente, a través de las manos o por superficies inertes contaminadas (denominadas fómites), si acto seguido hay contacto con la mucosa de la boca, nariz y/u ojos.
- Directamente, a través del aire, bien al respirar gotículas exhaladas por las personas contagiadas al respirar, hablar, estornudar o toser (gotas de Flügge), bien a través de partículas más pequeñas, que permanecen suspendidas en el aire durante más tiempo y alcanzan mayor distancia (aerosoles).^[1]

En marzo de 2020, la OMS declaró la pandemia mundial y recomendó una serie de medidas con el objetivo de eliminar los microorganismos patógenos e inactivar los coronavirus de las manos. Dentro de estas medidas, la Química juega un papel fundamental al ofrecer productos antisépticos (jabón y etanol), para la asepsia de tejidos vivos, y desinfectantes (lejía y agua oxigenada), para esterilizar superficies inertes.

La industria química proporciona muchos otros productos en la lucha contra el virus: fármacos (medicamentos), antibióticos, antivirales, estabilizantes para las vacunas), gases medicinales (oxígeno para tratar la hipoxia)



F. Prada Pérez
de Azpeitia

Dpto. de Física y Química (IES Las Lagunas)
Gabriel García Marquez, 1. (Rivas-Madrid)
C-e: fernando.pradaperez@educa.madrid.org

Recibido: 10/12/2020. Aceptado: 12/04/2021.

y materiales sanitarios fabricados con polímeros (bolsas de suero, respiradores, jeringuillas, material quirúrgico y equipos de protección individual o EPIs). Dentro de esta última categoría, se incluyen: guantes, batas, gorros, gafas, pantallas faciales de protección y mascarillas FFP (del inglés filtering face pieces).^[2] Entre todos estos materiales, la mascarilla se ha convertido en la “herramienta” más eficaz e imprescindible en la vida cotidiana de las personas para evitar los contagios.

UN RECURSO DIDÁCTICO Y SANITARIO

La lucha contra la propagación de la COVID-19, ofrece una buena oportunidad para elaborar recursos didácticos que alcancen uno de los principales objetivos del currículo de química en niveles preuniversitarios, que los estudiantes comprueben las implicaciones de la química en la salud y bienestar de la sociedad, y que reconozcan la necesidad de la ciencia para mejorar las condiciones de nuestra existencia. Es una magnífica ocasión para mostrar cómo la Química es una ciencia central y aplicada, partiendo del análisis de la composición, propiedades y modo de actuación de productos químicos cotidianos, eficaces para combatir la pandemia (Figura 1).

Para ello se ponen en práctica contenidos fundamentales del currículo de química en las etapas educativas de ESO y bachillerato, como por ejemplo: sustancias puras y mezclas, concentración y preparación de disoluciones, trabajo en el laboratorio, solubilidad, pictogramas indicadores de peligro de sustancias químicas, reacciones químicas, ácidos y bases, medida de la acidez, hidrólisis de sales, grupos funcionales del carbono, propiedades de los alcoholes, reacciones orgánicas, saponificación, sustancias hidrófilas e hidrófobas, composición de los jabones y otros productos químicos cotidianos de interés industrial.

Los contenidos teóricos y prácticos que se tratan son susceptibles de ser utilizados tanto durante las clases y explicaciones como en el laboratorio, entre otras experiencias, para preparar disoluciones que pueden ser



Figura 1. El lavado con agua y jabón es una práctica clave de salud pública para reducir la pandemia, a la vez que una oportunidad para analizar las propiedades de sustancias químicas cotidianas

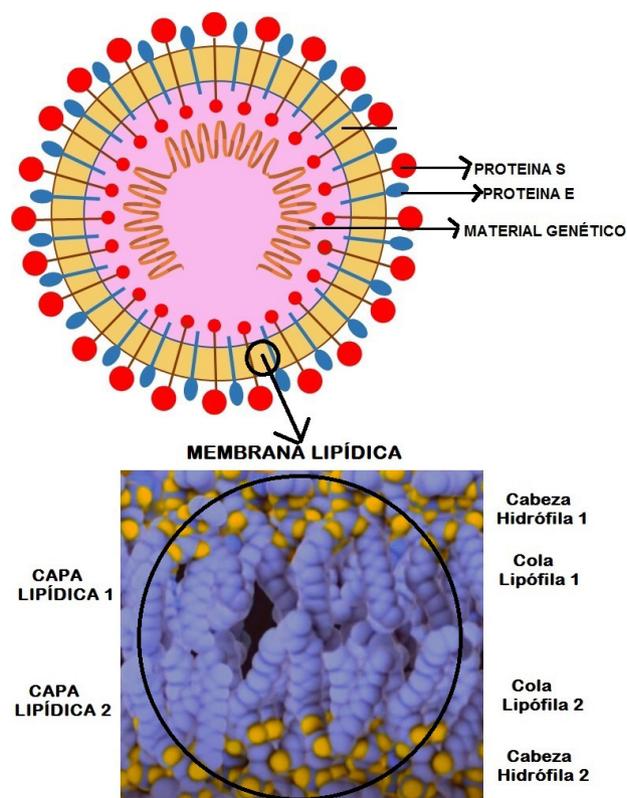


Figura 2. Estructura de un coronavirus con detalle ampliado de la bicapa lipídica de la membrana

aprovechadas por los propios estudiantes para la desinfección de sus manos y/o superficies comunes, y para identificar mascarillas no homologadas.

EL JABÓN FREENTE EL CORONAVIRUS

El SARS-CoV-2 es el virus causante de la enfermedad denominada COVID-19. Al igual que algunos otros tipos de virus y bacterias, se encuentra rodeado de una membrana externa formada por una bicapa lipídica, con las colas lipófilas (o hidrofóbicas) hacia adentro rodeados por sendos anillos formados por las cabezas hidrófilas (o lipófilas), que protege el genoma o material genético (ARN) contenido en su interior (Figura 2). El genoma del virus codifica cuatro proteínas estructurales, tres de ellas asociadas a la envuelta viral (S-spike, E-envelope y M-membrane) y una en el interior asociada al ARN (N-nucleocapsid).^[3]

Las proteínas S, que sobresalen de la membrana viral, tienen la actividad de unirse con los receptores de células hospedadoras de la mucosa oral con el objeto de fusionar sus membranas (Figura 3). De esta forma, el virus libera el genoma viral en el interior e infecta a las células sanas del tejido pulmonar, replicándose de forma semejante a los virus de la gripe y pudiendo crear unas 100.000 copias. El sistema inmunitario, sobre todo en el caso de personas inmunodeprimidas y de edad avanzada, puede llegar a reaccionar tan agresivamente para eliminar el

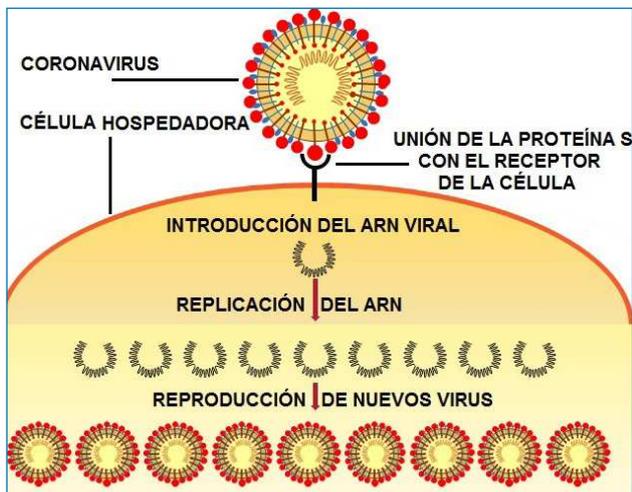


Figura 3. Proceso de infección del virus (cortesía de J. M. Pons)

coronavirus que cause daños muy graves en las células sanas del tejido pulmonar, originado por la actuación desenfrenada de proteínas (citoquinas) liberadas como defensa.

Es sorprendente, que con todos los avances médicos y tecnológicos del siglo XXI, el uso de un sencillo jabón sea uno de los métodos más eficaces en la lucha contra la pandemia. La obtención del jabón, tanto a nivel tradicional como industrial, se basa en una reacción química, la saponificación, que utiliza como materia prima los triglicéridos de los ácidos grasos presentes en las grasas. En las de origen vegetal, predominan los ácidos grasos insaturados, con uno o más dobles enlaces tipo cis, como por ejemplo el ácido oleico del aceite de oliva. Mientras que en las de origen animal, predominan los ácidos grasos saturados, como el ácido esteárico. Así por ejemplo, en la saponificación de triesterato de glicerilo (Figura 4), al reaccionar con hidróxido de sodio origina estearato de sodio, y como producto secundario propano-1,2,3-triol, conocido comercialmente como glicerina, una sustancia humectante que conserva la humedad de la piel y evita su deshidratación.^[4]

El jabón en forma de pastillas puede convertirse en un depósito de microorganismos patógenos. Por lo que lavarse las manos con él podría conducir a propagar una infección. Por esta razón, antes de usar una pastilla de jabón hay que enjuagarla bien, para eliminar los gérmenes adheridos, o bien lavarnos con un jabón líquido o gel de ducha elaborado con tensioactivos (surfactantes) que disminuyen la tensión superficial del agua, favoreciendo la emulsión de las grasas.^[5] Los principales tensioactivos aniónicos de los jabones líquidos y detergentes

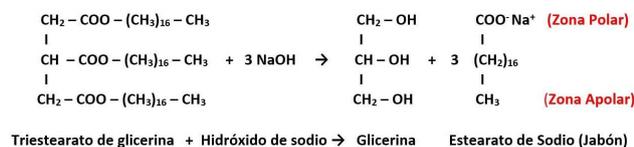


Figura 4. Saponificación del triesterato de glicerina



Figura 5. Carácter anfipático (anfifílico) de las sales alcalinas de los ácidos grasos presentes en jabones líquidos

son el lauril sulfato de sodio $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{Na}$ y el lauril éter sulfato de sodio $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2(\text{OCH}_2\text{CH}_2)\text{OSO}_3\text{Na}$, procedentes del aceite de coco y del aceite de palma, respectivamente. Presentan una particularidad fundamental en los jabones: dos extremos con propiedades diferentes (Figura 5).^[6]

La eficacia de los jabones líquidos radica en que sus tensioactivos tienen carácter anfipático: dos zonas de diferente polaridad: una lipófila y otra hidrófila. Cada zona busca moléculas semejantes, cumpliendo el axioma químico *similia similibus solvuntur* (semejante disuelve a semejante). Esta característica hace que actúen como emulsionantes capaces de dispersar un líquido, como la grasa, en el seno de otro, como el agua, en el que es inmisible. Durante el lavado de manos, la zona lipófila del tensioactivo, formada por la larga cadena alifática, busca moléculas semejantes, como los lípidos, y la zona hidrófila, localizada en el ión sulfato, se une a moléculas polares, como el agua, mediante puentes de hidrógeno.

En el proceso de desactivación del coronavirus, la zona lipófila de los componentes activos del jabón se introduce en la membrana lipídica del patógeno atraídas por la zona hidrofóbica de los aminoácidos, aprovechando las zonas más débiles donde se encuentran insertadas las proteínas, y a modo de palanca, las fragmentan, desligando a las proteínas y rompiendo la integridad estructural. Esto permite que se una a las moléculas de lípidos constituyentes de la membrana, formando agregados moleculares (micelas), que contienen las moléculas de lípidos y proteínas en su interior, rodeada y atrapada por la zona hidrófila del jabón (Figura 6). Como resultado de estas acciones, el material genético queda desprotegido y el coronavirus inactivado e incapacitado para infectar a células sanas. Finalmente, las micelas dispersadas en el agua forman una emulsión que es eliminada con el agua de lavado.

Si el tiempo de contacto entre el jabón y el patógeno es muy breve, solo se produce un debilitamiento de la membrana de un número limitado de virus. Por esta razón, para que la acción del jabón sea eficaz es necesario que actúe sobre toda el área de las manos (incluidas las uñas y el espacio interdigital) un tiempo mínimo,

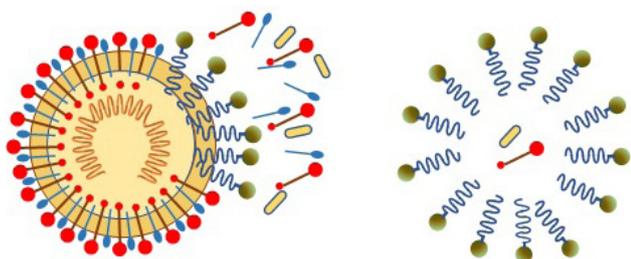


Figura 6. Ruptura de la membrana del virus por los tensioactivos del jabón y micela jabonosa encapsulando moléculas de lípidos y proteínas de la membrana (cortesía de J. M. Pons)

establecido en 20 s, de esta manera sobre la espuma se puedan formar eficientemente micelas alrededor de los lípidos que constituyen la membranas viral. Aunque la espuma no limpia por sí misma, cuanto más tiempo hagamos espuma con el jabón, mayor contacto habrá con las moléculas limpiadoras y mayor probabilidad de destruir el virus. Si nos lavamos las manos en un lugar público, es recomendable secarlas con una toallita limpia de papel y utilizar para cerrar el grifo y/o la puerta del baño, con el fin de evitar la posible contaminación de estas superficies.

Laboratorio: efecto emulsionante del jabón

Al añadir unas gotas de aceite en los dedos, frotarlos y mezclarlos con agua, observaremos que no desaparece la sensación grasienta y resbaladiza, por mucha agua que gastemos. Sin embargo, si añadimos un poco de jabón y frotamos los dedos aceitosos bajo el agua, percibiremos que esa sensación desaparece, lo que indica que los constituyentes del aceite se han separado de la superficie de la piel formándose una emulsión. Para poder analizar mejor el efecto del jabón, añadimos 50 mL de agua y 50 mL de aceite vegetal a un embudo de decantación. Se observa una mezcla heterogénea formada por dos fases inmiscibles, que aunque aparentemente se combinen al agitar, terminan separándose. Al añadir a la mezcla 5 mL de jabón líquido y agitar, comprobaremos que se mezclan las dos fases, formándose una emulsión estable (Figura 7).

Laboratorio: comprobación de la hidrólisis del jabón

Si realizamos la prueba de impregnar las manos con unas gotas del indicador ácido-base fenolftaleína y mojarlas con agua, no se produce cambio de color porque el agua es neutra. Al repetir la operación, pero está vez lavando las manos jabón, aparece una coloración violeta característica de las disoluciones básicas (Figura 8). Aunque los principios activos del jabón son sales neutras, se

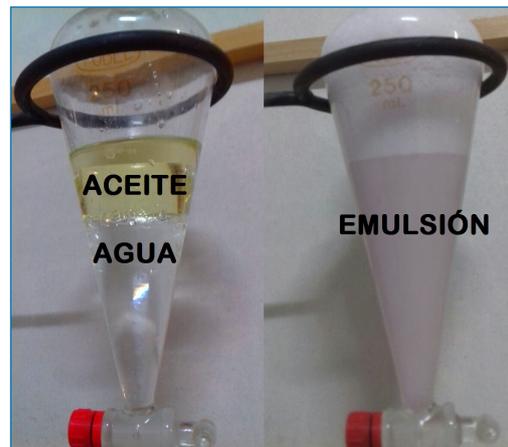


Figura 7. Formación de una emulsión por acción del jabón

produce una hidrólisis que alcaliniza la disolución. Este efecto no se produce si en vez de agua empleamos etanol.

Las sales de los jabones se puede considerar formadas por un catión que procede de una base fuerte (hidróxido de sodio o de potasio), y de un anión procedente de un ácido graso que es un ácido débil. El catión no reacciona con el agua, pero sí el anión, que capta un protón H^+ de la molécula de agua y se liberan iones OH^- en la disolución, aumentando su concentración ($[OH^-] > 10^{-7}$). Para que se mantenga constante el producto iónico del agua ($K_w = [H_3O^+][OH^-] = 10^{-14}$) la concentración de iones H_3O^+ tendrá que ser inferior a 10^{-7} y su $pH > 7$. Como resultado, las disoluciones de las sales neutras de los jabones, dan lugar a disoluciones acuosas básicas ($pH \approx 9$), detectable con el indicador fenolftaleína (punto de viraje $\approx 8,3$).



Figura 8. Coloración violeta de la fenolftaleína causada por la hidrólisis de las sales neutras del jabón

EL ALCOHOL FRENTE AL CORONAVIRUS

Cuando el agua y el jabón no están al alcance, las sustancias antisépticas que se aplican tópicamente sobre superficies corporales son eficaces para inhibir o eliminar microorganismos patógenos que podrían originar procesos infecciosos. Estos biocidas comprenden un amplio

grupo de productos químicos, de naturaleza muy variada, entre los que se encuentran, debido a su carácter anfipático, los alcoholes. Los más utilizados son el alcohol etílico (etanol) y el alcohol isopropílico (isopropanol), ambos muy solubles en agua y con actividad semejante. No está permitido utilizar el alcohol metílico (metanol) con este fin, debido a su toxicidad cuando se absorbe a través de la piel o cuando se ingiere, pudiendo causar vómitos, ceguera permanente, daños al sistema nervioso e incluso la muerte.

El alcohol farmacéutico es alcohol etílico desnaturado (*denat*) que contiene un aditivo antiséptico, como el cloruro de benzalconio (cloruro de alquildimetilbenzilamonio) al 0,1%, con el objetivo de amargar su sabor y hacerlo no apto para el consumo. Así, se reducen las intoxicaciones por ingestión accidental en los niños y se evita su utilización para elaborar bebidas alcohólicas caseras o bebidas ilegales que eviten pagar los impuestos especiales que gravan a este tipo de productos.

Los alcoholes alquílicos de cadena corta (hasta 4 carbonos), son muy solubles en agua, propiedad que disminuye al aumentar la longitud de la cadena, ya que aumenta su carácter hidrófobo. Las ramificaciones de la cadena aumentan la solubilidad en agua, así el alcohol isopropílico es más soluble que el propílico debido a que su ramificación disminuye la parte hidrófoba de la molécula. El isopropanol es menos polar que el etanol y disuelve mejor las sustancias orgánicas. Ambos alcoholes presentan propiedades bactericidas y son eficaces para desactivar algunos tipos de virus, como el coronavirus, por su capacidad para disolver la membrana externa lipídica que envuelve a los microorganismos y destruir la estructura de las proteínas, desnaturizándolas y haciendo que precipiten, impidiendo que se unan a los receptores de las células sanas.

La concentración del alcohol es un factor importante que condiciona su eficacia. Se considera que por debajo del 70%, disminuye su eficacia, al igual que si lo aplicamos sobre manos que están húmedas o sudorosas, por efecto de la dilución. Pero no siempre más es mejor, por encima del 90% se reduce su efecto debido a que el bajo porcentaje de agua no favorece la penetración del etanol en el coronavirus ni la consiguiente desnaturización de las proteínas.^[7]

Algunas bebidas alcohólicas contienen elevadas concentraciones de etanol, el menos tóxico de los alcoholes. La absenta y el vodka pueden alcanzar concentraciones superiores al 90% en volumen, por lo que podrían ser utilizados tópicamente como biocidas. El resto de bebidas alcohólicas, como la ginebra, whisky, vino, cerveza, etc., presentan concentraciones inferiores (entre el 3 y el 40%), y no serían eficaces para este fin. Pero si bien el alcohol, en la concentración adecuada, actúa como antiséptico en la piel, carece de eficacia ingerido en forma de bebida alcohólica, ya sea para combatir el virus en el aire inhalado, en la boca o dentro del organismo, y además es nocivo para el sistema inmunitario y la salud.

Los geles hidroalcohólicos comerciales contienen tres componentes fundamentales: etanol, el principal ingrediente activo, agua destilada, como diluyente, y glicerina, cuya función es proteger la piel evitando su deshidratación. Este viscoso humectante forma un gel que permita aplicar mejor el producto, a la vez que reducir la volatilidad del alcohol, permitiéndole actuar durante más tiempo frente a los microorganismos. El inconveniente que presenta el gel hidroalcohólico es que los patógenos, y sus restos, no se desprenden de la piel. Hay que esperar un tiempo (sobre 2 min) para que se evapore todo el alcohol, sin secarse con una toalla, de esta forma se garantiza una buena actividad antiséptica.^[8] Además, el volumen de alcohol utilizado debe ser el suficiente, unos 3 mL, para cubrir perfectamente toda la superficie de la mano y dorso, sin dejar ninguna zona sin tratar.^[9]

Tipos de geles hidroalcohólicos

Desde el punto de vista legal, la normativa clasifica a los geles con alcohol en dos categorías: antisépticos e higienizantes.

- Los geles antisépticos deben cumplir con el Reglamento (UE) 528/2012,^[10] son productos biocidas cuya finalidad es desinfectar la superficie de la piel destruyendo los microorganismos, disminuyendo el riesgo de contagio por contacto directo y evitando su propagación.
- Los geles higienizantes, deben cumplir con el Reglamento (UE) 1223/2009,^[11] son productos cosméticos cuya finalidad es limpiar las manos, retirando los gérmenes, suciedad e impurezas de su superficie. De esta forma disminuye el riesgo de propagación de la infección. No tienen efecto desinfectante para destruir bacterias ni virus, por tanto no pueden contener indicaciones de carácter biocida o antiséptico.



Figura 9. Pictogramas de peligro que deben llevar en el etiquetado los geles hidroalcohólicos antisépticos (inflamable y peligroso para la salud), según el reglamento CLP

La actual normativa no obliga a los fabricantes de geles hidroalcohólicos a indicar en su etiqueta el porcentaje de etanol, por lo que no siempre es posible conocer su concentración y propiedades. Para comprobar si un gel es biocida hay que acceder al listado de antisépticos para piel sana autorizados por la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios.^[12]

Los desinfectantes hidroalcohólicos tienen propiedades similares a los componentes de los jabones: doble afinidad polar-apolar. Pero menos acentuado, por ello se necesita una alta concentración, entre el 70% y el 90%, para conseguir una eficacia semejante a la del jabón.

La parte hidrofílica del alcohol se encuentra localizada en el grupo polar hidroxilo, lo que permite que pueden combinarse con otras moléculas polares, como el agua, formando enlaces intermoleculares por puente de hidrógeno. La parte lipofílica, se localiza en la cadena de carbonos, facilitando la unión con regiones apolares de los lípidos, alterando así sus funciones, y desnaturalizando a las proteínas, al debilitar las atracciones por puente de hidrógeno que unen las cadenas. El hecho de que las moléculas orgánicas que constituyen el coronavirus (lípidos, proteínas, ARN, etc.), se encuentren unidas por fuerzas intermoleculares, más débiles que las fuerzas debidas a enlaces interatómicos covalentes, facilita que las moléculas se disgreguen y pierdan su funcionalidad.

Laboratorio Anti-COVID-19: preparación de un gel desinfectante

Una de las formulaciones recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS-1) para la desinfección de manos propone como reactivos, el alcohol etílico al 96% como agente activo, agua destilada o hervida como diluyente, glicerina al 98% para minimizar la deshidratación que produce el etanol y peróxido de hidrógeno al 3% para eliminar la posible contaminación por esporas.^[13] Para preparar 1 L de gel, medir 833 mL de etanol (o 752 mL de isopropanol, en la formulación OMS-2) con una probeta y añadir a un matraz aforado de un litro. Medir 41,7 mL de peróxido de hidrógeno al 3% y 14,5 mL de glicerina y verter ambos reactivos al matraz. Rellenar con agua hasta la línea de aforo, tapar y agitar suavemente para homogeneizar bien la mezcla. Para su uso, introducir en un bote con dispensador de pipo, indicando la fórmula y concentración final del etanol.

En las recomendaciones de la OMS se indica que la concentración final del etanol así preparado es del 80% (v/v), lo que se puede comprobar experimentalmente con un alcoholímetro, admitiéndose límites aceptables del 5% de la concentración deseada (75%-85%) o haciendo los cálculos correspondientes. Partiendo de que la cantidad de etanol en la disolución concentrada y en la diluida es la misma, se cumplirá la ecuación de la dilución de mezclas:

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

donde C_1 es la concentración inicial del etanol (96%), V_1 es el volumen de etanol a diluir con agua (833 mL), C_2 es la concentración del etanol diluido que se quiere preparar y V_2 es el volumen de disolución de un litro que queremos preparar. Despejando y sustituyendo los datos, se comprueba que la concentración es del 80%:

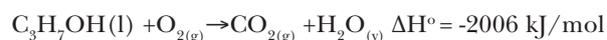
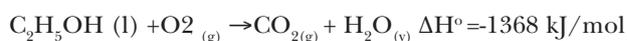
$$C_2 = C_1 \cdot V_1 / V_2 = 96\% \cdot 0,833 \text{ L} / 1 \text{ L} = 80\%$$

Esta fórmula supone que los volúmenes de etanol y agua son aditivos, sin tener en cuenta la contracción de volumen debido a la formación de puentes de hidrógeno.

Laboratorio: evaluación de la concentración de etanol en un gel hidroalcohólico

Para obtener una medida directa, y aproximada, de la concentración de etanol en una mezcla hidroalcohólica se utiliza un densímetro alcoholímetro graduado a 20°C, instrumento basado en el Principio de Arquímedes. La densidad del etanol a 20°C es de 0,797 g/mL, inferior a la del agua, por lo que el densímetro se sumergirá más a medida que disminuya su concentración. La obtención de una concentración (v/v) inferior al 70% (admitiéndose un margen de error del 5%) en un gel hidroalcohólico analizado indicará que no tiene propiedades antisépticas ni biocidas, solo higienizantes o limpiadoras, por tanto, no es eficaz frente al coronavirus. Además de agua y etanol, el gel contiene otros solutos no volátiles, como la glicerina, pero debido a su baja concentración no alteran significativamente los resultados de la prueba.

Para estimar de forma aproximada el grado alcohólico de un gel, se puede utilizar una prueba basada en la inflamabilidad del etanol e isopropanol. Alcoholes que emiten vapores inflamables a partir de 13°C y 12°C (punto de inflamación), respectivamente, valores que aumentan con la dilución. Para que ardan sin fuente de ignición (punto de autoinflamación) tienen que alcanzar una temperatura de 363 y 425°C, respectivamente, siendo difícil que prendan por exposición directa al Sol, donde no se superan dichas temperaturas^[14] La adición de pequeñas cantidades de glicerina aumenta levemente la viscosidad y reduce ligeramente la volatilidad e inflamabilidad de la mezcla. Cuando estos alcoholes arden lo hacen con una llama azulada poco luminosa y sin generar humo, según las ecuaciones de combustión:



Si a temperatura próxima a 20 °C, se aproxima una cerilla encendida a un hidrogel del 70% en etanol, se comprueba que los vapores de alcohol se inflaman. Pero si el gel se diluye con suficiente cantidad de agua,

el porcentaje de etanol en el vapor es tan bajo que no se produce la combustión. Así, al mezclar 4 mL del gel al 70% con 1,5 mL de agua y aproximar la llama de una cerilla, la disolución arde, pero no lo hace cuando se mezcla con 2 mL de agua. Tomando como referencia que a concentraciones inferiores al 47%, el gel hidroalcohólico no se inflama con una cerilla.

La prueba de combustión con cerilla se puede utilizar como un método didáctico para dilucidar si un hidrogel alcohólico está correctamente etiquetado. Por ejemplo, al mezclar 4 mL del hidrogel marca *Aptonia* con 1,5 mL de agua y aproximar una cerilla encendida, no se produce la combustión (Figura 10). Evidencia de que su concentración en etanol no alcanza el 70%. Es solo un gel higienizante, que no puede ser etiquetado como antiséptico porque no protege frente al patógeno.

LOS DESINFECTANTES FRENTE AL CORONAVIRUS

La OMS advierte de la posibilidad de que las gotículas respiratorias, procedentes de personas infectadas, puedan contaminar objetos (encimeras, barandillas, interruptores, pomos, grifos, teléfonos, teclados y ropa), lo que produce fómites (superficies contaminadas), desde donde el coronavirus puede transferirse a las personas. Si bien no existen informes concluyentes, dada la dificultad de diferenciar entre la transmisión por gotículas respiratorias y por fómites, se recomienda inactivarlos mediante la aplicación de productos desinfectantes cotidianos, como la lejía y el agua oxigenada.^[15]

Lejía (disolución de hipoclorito de sodio)

El compuesto clorado más recomendado como agente eficaz en la eliminación de ciertos virus, como el coronavirus, bacterias y microorganismos, es el hipoclorito de sodio (NaClO), que en disolución acuosa se conoce comercialmente como lejía. Se caracteriza por un fuerte y penetrante olor y un color verde-amarillento. Por su alta capacidad de desinfección es utilizado en diferentes ámbitos, desde el hogar hasta hospitales e industrias: potabilización de aguas residuales, tratamiento de piscinas,

limpieza de frutas y verduras, desodorizante contra los malos olores, blanqueador de ropa, etc.

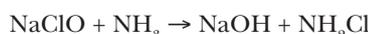
La concentración de la lejía se expresa en %, referido a masa-volumen. Por normativa, la concentración en la lejía doméstica debe ser inferior al 5%. Su efecto desinfectante se basa en su carácter oxidante, que incluso a concentraciones muy bajas, del orden del 0,5%, es capaz de inactivar el coronavirus, según la OMS. Para obtener el máximo efecto, después de ser aplicado, debe permanecer unos 10 minutos sobre la superficie a desinfectar. No debe ser pulverizada sobre el cuerpo porque es irritante y daña la piel y los ojos (Figura 11).

La sustancia activa responsable del efecto biocida de la lejía es el ácido hipocloroso, que se forma a partir de la disolución acuosa de hipoclorito de sodio.



El ácido hipocloroso se disocia parcialmente formando el ión hipoclorito. Tanto la forma disociada como la no disociada, son oxidantes capaces de romper la membrana del coronavirus y los enlaces químicos de sus moléculas, alterando las proteínas e inactivando los sistemas enzimáticos y el material genético del patógeno. Como consecuencia desactiva estructuras esenciales para su reproducción.

Es muy importante no mezclar lejía con otros productos químicos limpiadores pensando que así aumentará su poder desinfectante. En el etiquetado de la lejía se incluye la indicación EUH206 (No utilizar junto a otros productos, pueden desprender gases peligrosos). Según el Servicio de Información Toxicológica (SIT), la intoxicación más frecuente en los hogares se produce al mezclar lejía con amoníaco, debido a que se genera un gas muy tóxico, la cloramina (NH₂Cl), según se indica en la ecuación:



La cloramina, al entrar en contacto con las mucosas produce una sustancia muy corrosiva, cloruro de hidrógeno, que puede causar daños graves en el sistema respiratorio.

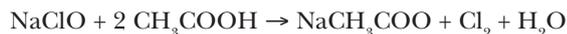
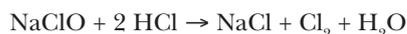


Figura 10. Prueba de combustión de hidrogeles alcohólicos



Figura 11. Etiqueta con indicaciones y pictogramas de peligro de la lejía doméstica: corrosiva y peligrosa para el medio ambiente

También es peligroso mezclar lejía con productos que contienen disoluciones acuosas de ácidos, como el salfuman o agua fuerte (ácido clorhídrico, HCl) o vinagre (ácido acético, CH₃COOH). En medio ácido, el ión hipoclorito oxida el ión cloruro a cloro, un gas tóxico muy peligroso, según los procesos redox siguientes:



Laboratorio Anti-COVID-19: preparación de una disolución de hipoclorito de sodio al 0,5%

La lejía comercial industrial se presenta en concentraciones entre el 0,5% y el 5%. Para la desinfección de superficies contaminadas por el coronavirus, la OMS recomienda utilizar una disolución de hipoclorito de sodio del 0,5%, que equivale a 5.000 ppm o 5 g/litro. La ecuación de la dilución permite calcular el volumen de una lejía de uso doméstico de concentración del 4% necesario para preparar un litro de una lejía de concentración del 0,5%:

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

donde C₁ es la concentración inicial de la solución de lejía concentrada (4%), V₁ es el volumen de lejía a calcular, C₂ es la concentración de la solución diluida a preparar (0,5%) y V₂ es el volumen de solución final que queremos preparar (1 litro).

Sustituyendo los datos y despejando, resulta que se necesitan 125 mL de lejía del 4%, y el resto de agua fría, hasta enrasar a un litro. No hay que utilizar agua caliente porque el NaClO se descompone formando gas cloro, disminuyendo la concentración y aumentando el peligro en caso de inhalación.

$$V_1 = C_2 \cdot V_2 / C_1 = 0,5\% \cdot 1\text{L} / 4\% = 0,125 \text{ L}$$

Para preparar la lejía diluida, medir 125 mL de lejía al 4% con una probeta y verter a un matraz aforado de un litro. A continuación, añadir agua hasta la línea de aforo, tapar y agitar para mezclar bien los componentes. Etiquetar el matraz indicando el reactivo, la concentración y la fecha de preparación. Estas soluciones son inestables y se descomponen con el tiempo, perdiendo su eficacia desinfectante. Por esta razón, es recomendable que se preparen diariamente antes de ser utilizadas y que se conserven en recipientes herméticos.^[16]

Agua oxigenada (peróxido de hidrógeno)

Dentro del grupo de desinfectantes de superficies, y en la categoría de oxidantes, se encuentra el peróxido de hidrógeno. Debido a su elevada polaridad es un líquido muy soluble en agua. La reducción del peróxido dando

agua y oxígeno, mediante ruptura heterolítica, es un proceso termodinámicamente favorable, pero lento debido al enlace relativamente fuerte O-O, velocidad que aumenta considerablemente en presencia de catalizadores.



El peróxido de hidrógeno farmacéutico se presenta en concentraciones diluidas que van del 3% al 5% referido a masa/volumen (Figura 12). La concentración se suele indicar también en volúmenes, indicando los litros de oxígeno que puede producir un litro de solución de H₂O₂, en condiciones normales de presión y temperatura. Por ejemplo, una concentración al 3% (m/v), equivale a un agua oxigenada de 10 volúmenes, lo que indica que 1 litro de la misma puede generar 10 litros de oxígeno.

En los hogares, el agua oxigenada se suele utilizar como antiséptico doméstico para curar pequeñas heridas, debido a la actuación de la enzima catalasa, presente en la sangre, que cataliza su descomposición liberando oxígeno, gas responsable de la destrucción de bacterias anaeróbicas. Es útil también para desinfectar lentes de contacto y eliminar irritaciones en la boca. La OMS recomienda el peróxido de hidrógeno como uno de los agentes eficaces para desinfectar una amplia gama de microorganismos presentes en las superficies y así evitar su propagación, entre ellos el coronavirus, en concentraciones superiores al 0,5% y dejando actuar el producto durante varios minutos.

La actividad antiséptica del peróxido de hidrógeno se debe a su poder oxidante frente a los grupos funcionales de las macromoléculas orgánicas constituyentes del coronavirus. Por ejemplo, oxida a los grupos sulfhidrilo o tiol (-SH) que se encuentran formando puentes disulfuro en las proteínas, causando su desnaturalización. Como resultado de la ruptura homolítica del enlace O-O presente en el peróxido, se forman radicales libres muy reactivos (grupos hidroxilo: -OH),^[17] que actúan fragmentando las membranas lipídicas de los microorganismos y uniéndose a las enzimas para desactivarlas y alterar las bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos. Así, consigue modificar la estructura del ARN, alterando la información genética y evitando la propagación del patógeno.

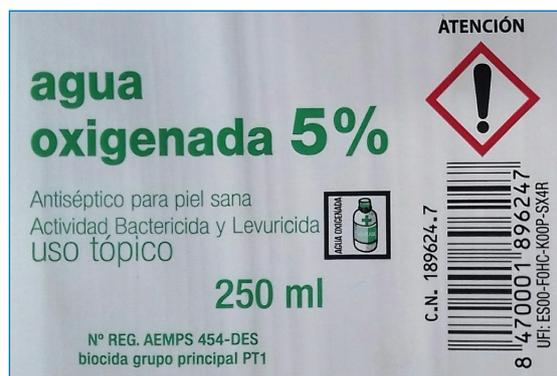


Figura 12. Etiqueta con indicación de la concentración y pictograma de peligro del peróxido de hidrógeno farmacéutico

Laboratorio Anti-COVID-19: preparación de una disolución de peróxido de hidrógeno al 0,5%

Para preparar un litro de una disolución diluida de H_2O_2 al 0,5%, eficaz para eliminar el coronavirus en las superficies, a partir de otra del 3%, hay que calcular el volumen de disolución concentrada necesario mediante la ecuación de la dilución:

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

donde, $C_1 = 3\%$, $C_2 = 0,5\%$, $V_2 = 1 \text{ L}$

sustituyendo, $V_1 = C_2 \cdot V_2 / C_1 = 0,5\% \cdot 1\text{L} / 3\% = 0,167 \text{ L}$

El método consiste en medir 167 mL de H_2O_2 al 3% con una probeta y verter a un matraz aforado de un litro. Rellenar con agua hasta la línea de aforo, tapar y homogeneizar la mezcla. Para conservar la disolución hay que utilizar un recipiente opaco, porque el enlace covalente entre los dos átomos de oxígeno del peróxido de hidrógeno es susceptible de romperse al interactuar con la luz. Finalmente, etiquetar con la fórmula, concentración y fecha del agua oxigenada preparada.

Para obtener la concentración expresada en volúmenes de oxígeno del H_2O_2 al 0,5% (m/v), se calcula primero la concentración molar M:

$$M = n^\circ \text{ mol} / V = [5\text{g} / (34 \text{ g/mol})] / 1 \text{ L} = 0,15 \text{ mol/L}$$

Como en la descomposición de dos moles de H_2O_2 se forma un mol de O_2 , con 0,15 moles de H_2O_2 se formarán la mitad de moles de O_2 (0,15/2), lo que equivale a un volumen de 1,7 L de O_2 , en condiciones normales:

$$0,15/2 \text{ mol } O_2 \cdot (22,4 \text{ L en c.n.}) = 1,7 \text{ L de } O_2$$

LA QUÍMICA QUE SE ESCONDE EN LAS MASCARILLAS

Una de las vías de transmisión del virus es por contacto directo con las micropartículas nasofaríngeas (gotitas de Flügge) expelidas por las personas infectadas, no solo al estornudar o toser sino también al hablar y respirar.^[18] Estas partículas se clasifican según su tamaño:

- Gotículas con un diámetro entre 100 y 1.000 μm (0,1 a 1 mm), dado que el diámetro del coronavirus es muy pequeño, del orden de 0,1 μm ,^[19] cada gota puede albergar hasta 50.000 coronavirus, que caen al suelo por efecto gravitatorio, con un alcance entre 1 y 2 m.
- Y partículas menores de 100 μm (aerosoles), que permanecen suspendidas durante varias horas en el aire y, aunque con mucho menor carga viral (6 coronavirus por gota), se transmiten a mayor distancia.^[20] El sistema más eficaz, para evitar el contagio directo del virus a través del aire, es el

uso correcto de las mascarillas. Un objeto de uso personal convertido en artículo habitual e imprescindible para la salud de todos.

Clasificación de las mascarillas

En un primer momento, ante la escasez de mascarillas sanitarias para médicos y enfermeros, la OMS recomendaba a la población utilizar las mascarillas higiénicas, destinadas a personas sin síntomas y diseñadas para disminuir el riesgo de contagio ante la imposibilidad de mantener el distanciamiento social. Este tipo de mascarillas no están diseñadas para proteger a la persona que la usa, sino para evitar que las gotículas de saliva exhaladas se dispersen en el aire y contagien a otras personas. Dado que su eficacia respecto a las pequeñas partículas no es muy alta, no están catalogadas como equipo de protección individual (EPI). Deben cumplir las especificaciones: UNE-0064-1 (adultos, no reutilizables), UNE-0064-2 (niños, no reutilizables) y UNE-0065 (adultos y niños, reutilizables). Si bien, en entornos de bajo riesgo y ventilados (vías públicas, comercios, supermercados, aulas) las mascarillas higiénicas son apropiadas. En entornos más expuestos (hospitales, residencias, transporte público, aulas con 30 alumnos y sin ventilación, etc.), son recomendables las mascarillas sanitarias clasificadas como EPI, que reducen el número de partículas y gérmenes del aire que inhala el portador. Se clasifican en 3 categorías, según la mínima capacidad de filtración de partículas: FFP1 (78%), FFP2 (94%) y FFP3 (98%). Deben estar fabricadas de acuerdo a la norma UNE-EN 149-200.

Las mascarillas FFP1 no son recomendadas para los médicos, porque no evitan que se contagien. Son aptas para evitar inhalar partículas no tóxicas (polvo de ladrillo, cemento, carbón, serrín y polen). Las FFP2 y FFP3, son recomendadas para proteger de partículas muy finas tóxicas (plomo, amianto) y agentes patógenos (virus, bacterias), tanto al que las usa como a las personas próximas, siendo especialmente indicadas para profesionales sanitarios que trabajan en contacto directo con pacientes infectados por el virus y expuesto a altas concentraciones. En cualquier caso, el uso de la mascarilla, con independencia del tipo, no garantiza una protección total frente al contagio, habida cuenta de que ninguna protege los ojos, otra posible vía de entrada del virus. Además, si no se ajusta correctamente a la cara, el aire se cuela por los bordes donde hay menos resistencia, en vez de por las capas de la mascarilla, perdiendo su eficacia. Por ello, es vital el uso correcto de las mascarillas y complementarlo con el resto de medidas preventivas, tanto higiénicas como de distanciamiento y ventilación.

Funcionamiento de las mascarillas

El mecanismo de filtración de las mascarillas no se basa en actuar como un simple colador, que retiene a las

partículas que por su tamaño no pueden pasar a través de los poros del filtro. Las dimensiones de los huecos entre las fibras son mucho mayores que las de las partículas que portan los virus. En caso contrario, no se respiraría bien. La actuación de las mascarillas se basa en que las partículas que se encuentran en el aire respirado, independiente de su tamaño, entren en contacto directo con sus fibras. Las fuerzas de atracción de Van der Waals entre moléculas son las responsables de que las partículas se queden unidas y no atraviesen la mascarilla. Cuantas más capas tenga, aumenta la probabilidad de retener a las partículas. Especialmente a las de mayor tamaño ($> 0,5 \mu\text{m}$), que se mueven en línea recta, y a las más pequeñas ($< 0,1 \mu\text{m}$), que se mueven aleatoriamente en zig-zag con movimiento Browniano, debido a las colisiones con las moléculas del aire. Las partículas de tamaño intermedio (entre $0,1$ y $0,5 \mu\text{m}$), son las más difíciles de retener porque fluyen con el aire bordeando la fibra y no se mueven en línea recta. Estas partículas quedan retenidas por atracción electrostática, gracias al campo eléctrico permanente que han adquirido las fibras de las mascarillas FFP2 y FFP3, mediante un tratamiento previo de electrificación que aumenta su eficacia diez veces.^[21] Con el uso, al ir humedeciéndose, van perdiendo la carga electrostática y su eficacia, por lo que hay que sustituirlas después de utilizarlas durante unas horas (4 a 6 h). La fracción de partículas con un tamaño crítico de $0,3 \mu\text{m}$ (PM03) que son retenidas por una mascarilla determina la eficacia de filtración de partículas (PFE) en la normativa.

Composición de las mascarillas

Las mascarillas higiénicas son las más económicas y utilizadas, pero las que ofrecen una menor protección. Generalmente, están formadas por tres capas de “tejido no tejido” (TNT o, en inglés, *non woven*); material creado a partir de un polímero fundido (normalmente polipropileno, aunque pueden ser otros: PE, PA, PET), formado por una red de fibras unidas mediante procesos térmicos, mecánicos o químicos. Al no pasar

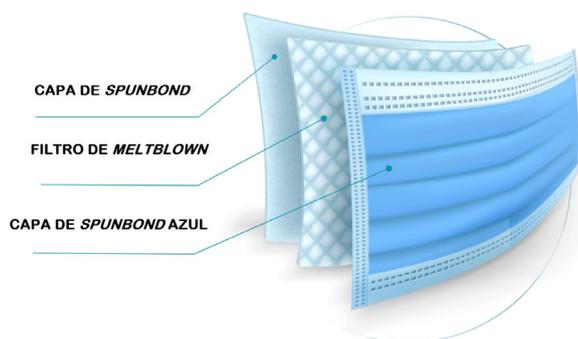


Figura 13. Mascarilla higiénica de 3 capas SMS: la exterior (azulada), hace de barrera a partículas grandes líquidas y sólidas, la intermedia, de barrera bacteriológica y vírica, y la interna, absorbe la humedad y protege la piel (hipoalérgica)

por un telar, ni ser tejidas, se consiguen láminas, de fibras microscópicas formadas por cientos de capas con un tamaño de poro muy pequeño. Según el proceso industrial, a partir del polipropileno es posible obtener materiales laminados con diferentes características, como spunbond (S) y meltblown (M), capas que se pueden combinar para mejorar las propiedades filtrantes. Las capas externa e interna de la mascarilla higiénica están hechas de TNT *spunbond*, con alta resistencia a la tracción y agresiones biológicas, hipoalergénico, de baja inflamabilidad e hidrofóbico. La capa intermedia, es de TNT *meltblown*, formado por un filtro de microfibras muy finas (de 1 a $2 \mu\text{m}$), que se apilan mediante uniones porosas tridimensionales, lo que le confiere a este material excelentes propiedades de filtración. Esta combinación trilaminar SMS de “tejido no tejido”, constituye una barrera capaz de bloquear los gérmenes patógenos de los fluidos por sus propiedades hidrofóbicas, consiguiendo que el tejido no se moje y que el agua se mantenga sobre él, debido a la tensión superficial. En el caso de que se utilicen materiales que no repelan el agua de forma natural, se les somete a un acabado químico hidrófobo a base de siliconas y parafinas.

Las mascarillas quirúrgicas, en su mayoría, también están formadas por tres capas y son semejantes a las mascarillas higiénicas, pero están clasificadas como producto sanitario y deben cumplir una normativa diferente (UNE-EN 14683:2019).

Las mascarillas FFP2 y FFP3, contienen más capas o filtros que las higiénicas; cuatro o cinco (Figura 14). Algunos modelos incorporan una válvula de exhalación para facilitar la expulsión de aire y evitar la condensación, pero como no filtran el aire exhalado, no protegen a los que están a su alrededor. Las capas internas filtrantes generalmente están compuestas de fibras de polipropileno, con un diámetro de unos $5 \mu\text{m}$, y poros entre 10 y $20 \mu\text{m}$. Presentan propiedades electrostáticas para retener con mayor eficacia las partículas de

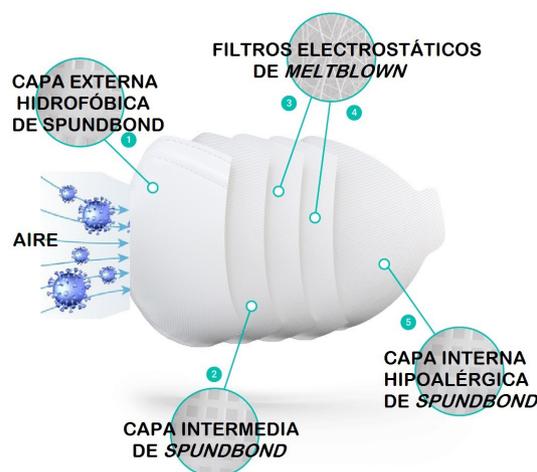


Figura 14. Mascarilla sanitaria de 5 capas: combinación SSMMS



Figura 15. Comprobación de la impermeabilidad de una mascarilla



Figura 16. Comprobación de la incombustibilidad de un filtro

tamaño intermedio, la cual aumenta con el grosor del filtro^[22] Por esta razón, las mascarillas FFP3, que son las que tienen mayor nivel de estratificación de fibras, presentan mayor grado de filtrado, y las recomendadas para labores sanitarias de riesgo, como por ejemplo, entubar a pacientes en la UCI.

Como experiencias didácticas, que pueden ser útiles como controles de calidad para identificar imitaciones, se pueden realizar dos pruebas: la del agua y la del fuego.

Laboratorio: prueba del agua

Colocar una mascarilla higiénica, ahuecada a modo de filtro, sobre un soporte con aro metálico (Figura 15). Con una probeta verter encima 50 mL de agua. El agua no debería atravesar el tejido hidrófobo ni gotear. A continuación, sujetar la mascarilla con las manos y agitarla suavemente; el agua debe moverse sobre la superficie y no empapar el tejido. Si se golpea ligeramente la parte inferior de la mascarilla contra una servilleta de papel, esta debe permanecer seca, indicando que la mascarilla es impermeable y ofrece suficiente protección frente a la humedad al hablar. En el caso de que la servilleta se humedeciera, indicaría que el material de la mascarilla no es impermeable y es fraudulenta.

La tensión superficial del agua es responsable de que sus moléculas tiendan a no dispersarse, como consecuencia de fuerzas intermoleculares de cohesión originadas por puentes de hidrógeno, reduciendo su superficie y formando gotas y películas que ofrecen resistencia a romperse. Cuando estas fuerzas son mayores que las fuerzas de adhesión entre el líquido y el sólido con el que está en contacto, el líquido no mojará el sólido. Esto explica las propiedades hidrófobas del material de las mascarillas.

Si ahora, añadimos al agua unos mililitros de etanol (o jabón líquido) o pulverizamos el etanol sobre la capa externa de la mascarilla, el agua es absorbida y se filtra;

la mascarilla deja de ser impermeable. Estos productos disminuyen la tensión superficial del agua y la capacidad filtrante de las fibras del filtro, enlazadas mediante enlaces débiles que se rompen por sustancias deshidratantes (etanol) o con pH básico (jabones y detergentes).

Al dejar secar totalmente la mascarilla y repetir la prueba del agua, se comprueba que vuelve a ser impermeable. Sin embargo, aunque aparentemente no se detecte, las propiedades de retención electrostática y filtradoras de las fibras en las mascarillas no reutilizables (NR) son alteradas y pierden su eficacia. Las únicas mascarillas que se pueden reutilizar son las reciclables (R), fabricadas con materiales que pueden lavarse e higienizarse, siguiendo las indicaciones del fabricante.

Laboratorio: prueba del fuego

Cortar una mascarilla higiénica, con una tijera, por los laterales para extraer el filtro de la capa intermedia. Colocarlo en un soporte y acercar la llama de una cerilla al filtro (Figura 16). Las mascarillas homologadas contienen un filtro de polipropileno ignífugo, resistente al fuego, que se funde por el calor desprendido en la combustión de la cerilla, a una temperatura próxima a 170° C y sin formar llama.

En el caso de que la capa filtrante estuviera formada por un simple papel, se inflamaría fácilmente y ardería. Prueba de que el filtro es una imitación y no está homologado, por lo que incumpliría la normativa y no evitaría la entrada de gérmenes nocivos.

CONCLUSIONES

En todos los centros escolares, se deberían impartir charlas divulgativas de forma colectiva para incrementar el conocimiento sobre el modo de utilización y de actuación de las mascarillas y sustancias químicas que contie-

nen los productos cotidianos recomendados en la lucha contra el COVID-19 y, a la vez, concienciar sobre la necesidad de la higiene personal y del uso de las mascarillas en el bienestar común.

Dentro de las asignaturas que incluyen contenidos de química en las aulas de enseñanzas medias, los principios activos y productos eficaces para contrarrestar la propagación de la pandemia viral, pueden ser aprovechados para convertirse en un interesante recurso didáctico. Con el que conseguir, por un lado, que el estudiante aplique de forma práctica sus conocimientos y, por otro, que compruebe las implicaciones de la Química en la sociedad y en la salud.

Con carácter general, todos los ciudadanos deberían tener unos conocimientos científicos básicos, para que puedan tomar decisiones informadas que afectan tanto a su propia salud como a la colectiva, y no dejarse engañar por la desinformación y bulos que inundan los medios de comunicación, ni depender exclusivamente de supuestos expertos que sesgan la información científica a su conveniencia.

ÚLTIMAS INVESTIGACIONES

Los resultados de las últimas investigaciones científicas, indican que el coronavirus SARS-CoV-2 se transmite principalmente a través del aire, por contagiados que exhalan gotículas, y sobre todo, aerosoles. El contagio indirecto, a través de objetos y fómites, resulta poco probable.^[23] Esto no significa que haya que dejar de lavarse las manos con jabón y usar el gel hidroalcohólico. Pero no es tan prioritario concentrar esfuerzos en desinfectar la ropa, fregarlo todo o fumigar paredes y edificios que nadie va a tocar, lo que se ha llamado el “teatro de la pandemia”. Es preferible centrarse en usar correctamente las mascarillas, mejorar la ventilación e instalar purificadores de aire.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Scientific briefing: Vías de transmisión de SARS-CoV-2. OMS, julio, 2020.
- [2] Webinar Feique. *La química, esencial frente al COVID-19*. Federación Empresarial de la Industria Química Española. 2020. <https://youtu.be/HpJ9chEfsY0>
- [3] K. Carroll *et al.* *Microbiología médica*. McGraw-Hill Interamericana. 27.^a edición, cap. 41, págs. 573-574, 2016.
- [4] R. Chang. *Química*. Ed. McGraw-Hill. 2010.
- [5] P. Hegde, Pete *et al.* Microbial contamination of "In use" bar soap in dental clinics. *Indian Journal of Dental Research* **2006** 17(2):70-3. DOI: 10.4103/0970-9290.29888.
- [6] I. Regla *et al.* La química del jabón y algunas aplicaciones. *Revista digital UNAM*. **2014** 15(5) Art. 38.
- [7] W. Rutala, D. Weber. *Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities*, 2008, 39-40. Centers for Disease Control and Prevention. 2019. <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/disinfection>
- [8] Manual técnico de referencia para la higiene de las manos OMS. 2009. <https://www.who.int/gpsc/5may/tools/es/>
- [9] W. Zingg, T. Haidegger y D. Pittet. Hand coverage by alcohol-based handrub varies. *American Journal of Infection*. **2016** 44 (12) DOI:10.1016/j.ajic.2016.07.006.
- [10] Reglamento (UE) n.º 528/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo, 2012, relativo a la comercialización y el uso de los biocidas. <http://data.europa.eu/eli/reg/2012/528/oj>
- [11] Reglamento (CE) n.º 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, 2009, sobre los productos cosméticos. <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1223/oj>
- [12] Antisépticos para piel sana autorizados por la AEMPS. 2020. <https://www.aemps.gob.es>
- [13] Formulaciones recomendadas por la OMS para la desinfección de las manos. 2010. <https://www.who.int/gpsc/5may/tools/es>
- [14] Fichas Internacionales de Seguridad Química. INSST. 2020. <https://www.insst.es/fisq>
- [15] G. Kampf *et al.* Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *Journal of Hospital Infection*, **2020** 104, 246-251. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.01.022>
- [16] Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). NTP 429: *Desinfectantes: características y usos más corrientes*. 1996.
- [17] I. Bertini, H. Gray, E. Stiefel, J. Valentine. *Biological Inorganic Chemistry*. University Science Books, California. 2007.
- [18] A. Bax *et al.* Transmission via speech-generated respiratory droplets. www.thelancet.com/infection, **2021** 21, 318. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30726-X.
- [19] Z. Varga *et al.* Electron microscopy of SARS-CoV-2: a challenging task. *The Lancet*. **2020** 935. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31185-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31185-5)
- [20] L. Anderson *et al.* Consideration of the Aerosol Transmission for COVID-19 and Public Health. *Risk Analysis*. **2020** 40. <https://doi.org/10.1111/risa.13500>
- [21] The astounding physics of N95 mask. 2020. <https://youtu.be/eAdanPfQdCA>
- [22] J. Courty, É. Kierlik ¿Cómo funcionan las mascarillas de protección respiratoria? *Investigación y Ciencia*. **2020** 524.
- [23] E. Goldman. Exaggerated risk of transmission of COVID-19 by fómites. *The Lancet*. **2020** 20. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30561-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30561-2)