

PROFILAXIA DE LAS INFECCIONES CRUZADAS EN LOS NIÑOS

LA ESTERILIZACIÓN DEL AIRE POR RADIACIONES GERMICIDAS

Dr. M. GIRONA

YA PASTEUR demostró en su tiempo que el aire podía acarrear bacterias y hongos patógenos; ello es igualmente cierto para los virus. El resfriado común, la gripe, la tuberculosis, el sarampión, la varicela, la parotiditis, entre otras muchas infecciones, se transmiten frecuentemente con el aire respiratorio. Incluso en los hospitales y maternidades, en que con más rigor se utilizan las técnicas de asepsia y el uso de máscaras por el personal sanitario y por las madres de los lactantes, pueden aislarse del aire de las habitaciones y pasillos la casi totalidad de tipos de gérmenes que tales personas acarrear... Debe recordarse también la rapidez casi explosiva con que se suelen transmitir en las escuelas las enfermedades infectocontagiosas infantiles de difusión aerógena. Por otra parte, las ventajas, ya de antiguo reconocidas, de una ventilación apropiada, van unidas a los factores aireación e insolación, es decir, a una buena dilución del aire contaminado y a su esterilización natural.

Todo ello ha llevado, en estos últimos tiempos, a la búsqueda de medios tendentes a higienizar y esterilizar el aire en aquellos lugares como las salas hospitalarias de prematuros o lactantes, donde las infecciones cruzadas aerógenas acarrear mayores peligros. Al facilitarse su uso, sus ventajas se han extendido a otros lugares, como escuelas, jardines de infancia, dormitorios, etcétera.

Aparte de los métodos de ventilación y acondicionamiento de aire que suelen incluir un filtraje más o menos efectivo de partículas grandes, y de los que no vamos a tratar, los métodos de higienización del aire podríamos dividirlos en pasivos o de asepsia y en activos o de antisepsia. Los primeros tienden a mantener el aire de las habitaciones lo más libre posible de partículas de polvo y de gotitas que sirvan de soporte a los gérmenes, y van desde las mascarillas oronasales y las sustancias impregnantes especiales para las ropas de cama, hasta los dispositivos electrostáticos que atraen a las partículas flotantes en la atmósfera del recinto. En cuanto a los métodos activos o de antisepsia, los hay de tipo químico, como la nebulización permanente de propilenglicol u otras sustancias, y los de tipo físico, que remedan a la naturaleza y que son representados por los dispositivos de irradiación ultravioleta, a los que se refiere este trabajo.

Espectro del éter o energía radiante

Para fijar ideas antes de emprender un breve estudio de las radiaciones germicidas, consideramos útil recordar, en sus líneas generales, el llamado "espectro del éter", es decir, el espectro o gama de frecuencias de la energía radiante, cuyo esquema se representa en la fig. 1.

La franja superior contiene toda la gama de radiaciones, desde los rayos cósmicos hasta las bajas frecuencias empleadas en la electricidad industrial. Las cifras indican la longitud de onda en angstroms (1 angstrom = 0,1 milimicras = 10^{-7} mm.); la frecuencia puede deducirse fácilmente, teniendo en cuenta que el producto de la frecuencia por la longitud de onda es igual a la velocidad de la luz (300.000 km./seg.), equivalente a 3×10^{11} mm. por segundo, y también a 3×10^{18} angstroms por segundo. Así, por ejemplo, la luz verde de 5.000 angstroms tiene una longitud de onda de $3 \times 10^{18}/5.000 = 6 \times 10^{14}$ períodos por segundo.

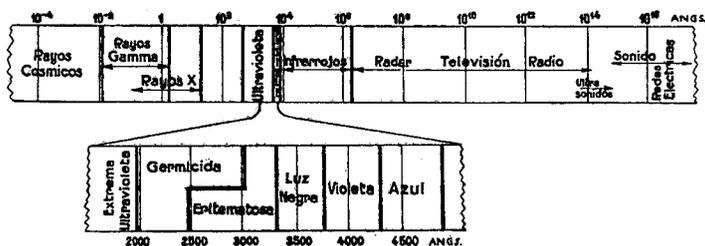


Fig. 1. — Espectro del éter. Las longitudes de onda se expresan en unidades angstrom (1 angstrom = 10^{-7} mm.). La franja inferior es un detalle de la región ultravioleta y principio de la de luz visible.

En el presente estudio seguiremos la notación universalmente adoptada de emplear la letra λ (lambda) para designar la longitud de onda expresada en angstroms; así, la notación $\lambda = 3.000$ significa que la longitud de onda es de 3.000 angstroms.

El espectro de la energía radiante tiene una amplitud enorme; la longitud de onda varía desde 10^{-4} a 10^{16} angstroms. La frecuencia más elevada corresponde a los rayos cósmicos, cuyo estudio ocupa actualmente un primer plano en las investigaciones científicas.

Siguen en el espectro los rayos gamma, que son los emitidos espontáneamente por las sustancias radioactivas. Los rayos catódicos son haces de electrones que, al incidir sobre materia (en condiciones adecuadas) generan los llamados Rayos X o de Roentgen, que penetran en la materia en mayor o menor grado, según su naturaleza o densidad. Estos rayos, aplicados en dosis suficientes, destruyen las células vivas, impresionan placas fotográficas y excitan la fluorescencia de determinadas sustancias.

Siguen en el espectro la región ultravioleta (parte de la cual está ampliada en la franja inferior de la figura), la región de la luz visible, los rayos infrarrojos, las radiaciones eléctricas, las frecuencias supersónicas, las audibles y las propias de la electricidad industrial.

La franja inferior de la figura es un detalle de la zona más interesante de la gamma ultravioleta. En esta región se encuentran las radiaciones germicidas, objeto principal del presente estudio, las de acción eritematosa, con producción de vitamina D y efectos de curtido y pigmentación de la piel humana y, finalmente, la "luz negra", cuya longitud de onda, que es la más elevada dentro de la región ultravioleta, se extiende hasta llegar al principio de la región de la luz visible, que abarca del violeta al rojo.

Radiaciones ultravioleta

La energía ultravioleta de longitud de onda inferior a 2.000 angstroms no tiene aplicaciones terapéuticas ni biológicas, ni es prácticamente manejable, pues es absorbida por la mayor parte de las sustancias, incluyendo el aire, de modo que sólo puede estudiarse en el vacío y aun con dificultades, pues no pueden emplearse placas fotográficas normales, porque la gelatina es opaca a estas radiaciones. Es a partir de $\lambda = 2.000$ hasta $\lambda = 3.200$ donde se extiende la región de mayores aplicaciones terapéuticas y biológicas; la energía radiante de estas frecuencias atraviesa el aire y, si bien no atraviesa el vidrio ordinario, puede atravesar el cuarzo y cristales especiales.

Las curvas de la fig. 2 indican la eficacia germicida y eritematosa de la energía radiante de diferentes longitudes de onda, expresada en tanto por ciento de la máxima. El máximo poder germicida se obtiene con longitudes de onda del orden de 2.600 angstroms.

La acción eritematosa, es decir, la producción de eritema o enrojecimiento, seguido de pigmentación o curtido de la piel, es máxima con longitudes de onda de 3.000 angstroms.

La forma de las curvas de la fig. 2 demuestra la necesidad de emplear en cada caso energía de la frecuencia adecuada a la finalidad perseguida.

Aptitud de penetración en la materia.- Efectos sobre la piel humana

Particularidad notable de la energía radiante, es que su aptitud para atravesar la materia es mínima para radiaciones del orden de $\lambda = 1.800$ y que a partir de este valor, en ambos sentidos, aumenta progresivamente. En efecto, con frecuencias más elevadas, encontramos los rayos X, cuyo poder de penetración es bien conocido, y después los rayos cósmicos, considerados aptos para atravesar toda materia. Con frecuencias inferiores, la

aptitud de penetración también aumenta al penetrar la longitud de onda a partir del mínimo a $\lambda = 1.800$; cuando alcanza los valores de la gamma visible, puede atravesar el aire, el agua y los cuerpos transparentes, con profundidad variable según el color, siendo máxima en el rojo. Siguiendo la escala de frecuencias decrecientes, se alcanzan los rayos infrarrojos, que tienen considerable poder de penetración en el agua, la sangre y en los tejidos del cuerpo humano, en condiciones muy superiores a la simple aplicación superficial de calor.

La penetración de la energía radiante en la piel humana varía enormemente según el espesor de la capa córnea, pero cuando se trata de partes no sometidas a razonamientos, ni a la acción del aire ni del sol, las diferen-

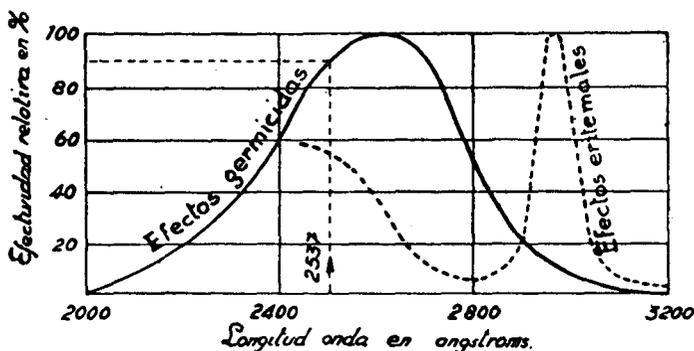


Fig. 2. — Efectos germicidas y eritematosos de la energía radiante de diferentes longitudes de onda.

cias son mucho menores y han permitido al doctor LUCKIESCH, de la General Electric Co., establecer el cuadro del efecto de la energía radiante sobre la piel humana que insertamos en el presente trabajo.

Aunque el estudio de los efectos biológicos de la energía ultravioleta queda fuera de los límites del presente estudio, hemos creído de interés las indicaciones referentes al efecto sobre piel humana, que terminaremos indicando que la máxima eficacia en la producción de eritema y pigmentación y en la activación del ergosterol con producción de vitamina D antirraquítica, corresponde a $\lambda = 2.967$.

RADIACIONES GERMICIDAS

Efecto germicida de las radiaciones solares

La energía radiante emitida por el sol puede dividirse en tres zonas: la energía de onda larga, que es calor invisible; la energía visible (luz y color), y la energía de onda corta, invisible, que denominamos ultravioleta, dotada de poder germicida en grado muy diferente según la longitud de

Efecto de la energia radiante sobre la piel humana

<u>Frecuencia</u>	<u>Efectos producidos</u>
Desde $\lambda = 2000$ a $\lambda = 2500$	Atraviesa la capa exterior (<i>corneum</i>) y produce algo de eritema.
Desde $\lambda = 2500$ a $\lambda = 2800$	Penetración hasta las células básicas (<i>stratum granulosum</i>) y causa eritema y alguna pigmentación.
Desde $\lambda = 2800$ a $\lambda = 3200$	Penetración hasta las ramificaciones de vasos (<i>rete vascularum</i>) y produce pigmentación considerable y eritema.
Desde $\lambda = 3200$ a $\lambda = 3900$	Atraviesa el <i>corium</i> y produce considerable pigmentación, con eritema relativamente moderado.
Desde $\lambda = 3900$ a $\lambda = 14000$	Penetra en los <i>tejidos subcutáneos</i> y produce hiperemia, sin eritema.

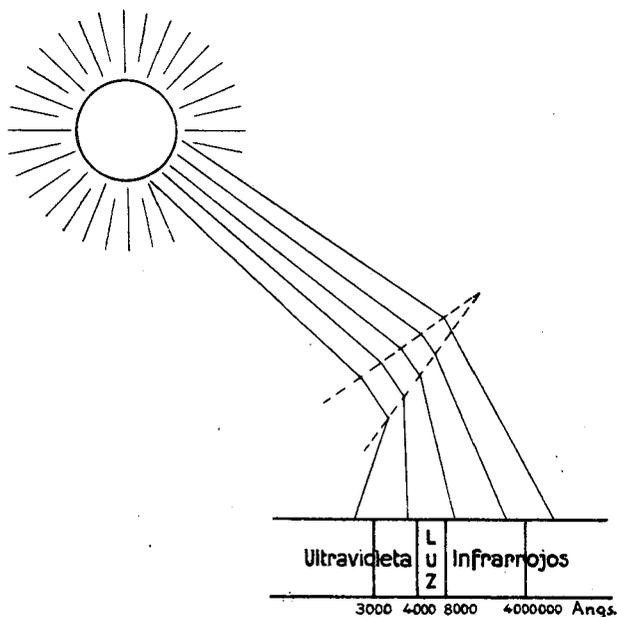


Fig. 3. — Radiaciones solares.

onda, como puede apreciarse en la fig. 4, en la cual la escala de ordenadas, que es la logarítmica, se extiende desde 0,00001 a la unidad.

El aire que rodea la tierra, cuya densidad aumenta con su proximidad a la superficie del planeta, constituye una pantalla que absorbe la mayor parte de las radiaciones ultravioletas procedentes del sol, de modo que en las radiaciones que nos llegan no se encuentra energía de longitud de onda inferior a $\lambda = 2.930$ y es muy reducida la potencia de longitud de onda inferior a $\lambda = 3.100$. Como puede verse en la fig. 4, a estas frecuencias el poder bactericida es muy débil en comparación con el de la frecuencia de máxima eficacia, que corresponde a $\lambda = 2.600$ aproximadamente, de modo que con radiaciones artificiales de esta última frecuencia se puede conseguir fácilmente un efecto germicida considerable, en comparación con el de las radiaciones que nos llegan del sol.

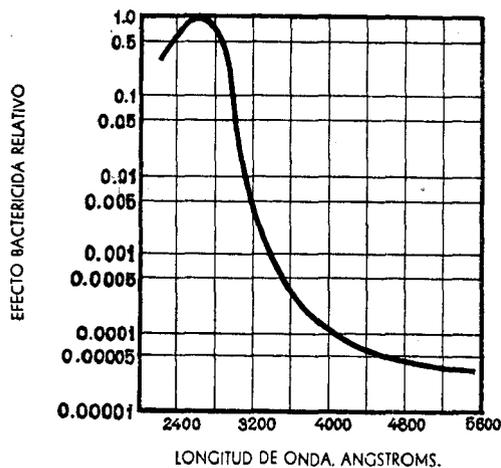


Fig. 4. — Eficacia bactericida relativa de las radiaciones ultravioleta de diferentes longitudes de onda.

No obstante, las radiaciones solares, gracias a su persistencia, destruyen los gérmenes que pudieran encontrarse en la atmósfera, pues la eficacia bactericida depende del producto de la intensidad por el tiempo de aplicación, de modo que el aire libre (no encerrado) puede considerarse puro.

Concurren a conseguir esta purificación del aire no encerrado la dilución del mismo en la capa más próxima a la tierra, en el inmenso volumen total del aire y el efecto germicida que tienen, aún en pequeña escala, las radiaciones de onda más larga, pues hasta la luz o energía visible tiene cierto poder germicida; se estima que la eficacia de las radiaciones de 5.870 (que corresponden a la luz amarilla) es 30.000 veces menor que la de fre-

cuencia $\lambda = 2.537$, que, como veremos, es la emitida por las lámparas germicidas.

**Generación artificial de radiaciones germicidas
Lámparas o tubos germicidas**

No es necesario encomiar las ventajas de disponer de medios para producir, en el punto y en el momento deseados, radiaciones germicidas o eritematosas de la intensidad conveniente. La posibilidad de generar estas radiaciones, no sólo ha sido alcanzada completamente, sino que, en la actualidad, ha dejado de ser limitada a los laboratorios para alcanzar un grado de gran utilización comercial. La causa que más ha facilitado la generalización de los tubos o lámparas germicidas es su analogía con las lámparas

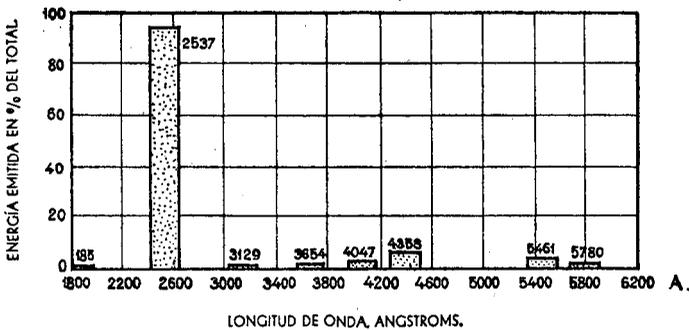


Fig. 5. — Radiaciones emitidas por las lámparas germicidas de descarga en vapor de mercurio.

fluorescentes. Como es sabido, éstas son generadores de radiaciones ultravioleta de $\lambda = 2.537$, mediante la descarga eléctrica dentro de atmósfera enrarecida de vapor de mercurio; en las lámparas fluorescentes estas radiaciones ultravioleta no salen al exterior, sino que se emplean en excitar la fluorescencia de substancias especiales que recubren las paredes interiores del cristal de la lámpara, produciéndose así luz. Se comprende que si se construyen lámparas similares a las fluorescentes del comercio, pero sin recubrir las paredes de polvos fluorescentes, y en vez de un cristal impenetrable a las radiaciones ultravioleta se emplea un cristal que permita el paso de dichas radiaciones, éstas pasarán al exterior y habremos obtenido un generador de radiaciones ultravioleta empleando materiales y técnicas de gran difusión, que ponen el tubo generador de radiaciones germicidas a un precio comparable al de las lámparas fluorescentes, tan usadas hoy día en el alumbrado de todas clases.

En realidad, como hemos indicado anteriormente, la máxima eficacia bactericida se obtiene con radiaciones de $\lambda = 2.600$ a $\lambda = 2.650$, pero como

que las radiaciones de $\lambda = 2.537$ tienen también gran eficacia (90 % de la máxima), y pueden generarse con mucha mayor facilidad y a un coste más reducido, resulta ventajoso utilizar lámparas parecidas a las fluorescentes del comercio, modificadas en la forma indicada en el párrafo precedente, de modo que este tipo de lámparas ha sido adoptado universalmente para efectos germicidas.

El espectro de las lámparas germicidas comerciales se representa en la figura 5, en la cual se destaca la preponderancia de la frecuencia $\lambda = 2.537$.

Las lámparas germicidas necesitan los mismos accesorios de control y encendido que las lámparas fluorescentes. El esquema eléctrico elemental se representa en la fig. 6. Se encuentran en el comercio lámparas de diferentes potencias, siendo las más corrientes las de 4, 8, 15 y 30 vatios (energía absorbida total).

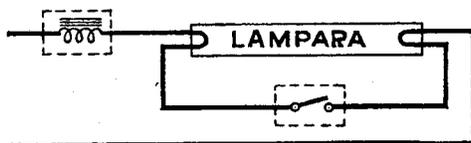


Fig. 6. — Diagrama de conexiones eléctricas de una lámpara germicida.

Como orientación respecto a la potencia a instalar para la esterilización del aire de una habitación, indicaremos la cifra de 1,5 vatios por metro cuadrado de la planta de la habitación, cifra que deberá duplicarse si la habitación es pequeña o estrecha, porque en este caso el aire estancado en ángulos y rincones representa una fracción más importante del total que en caso de habitaciones espaciosas.

Si es suficiente una sola lámpara germicida, es conveniente colocarla en un extremo y si se necesitan dos lámparas, montar una en cada extremo de la mayor dimensión del local. En esta forma las radiaciones se propagan en toda la longitud de la habitación, consiguiéndose un mejor aprovechamiento de la energía germicida que cuando las lámparas proyectan la energía en sentido del ancho del local.

Medición de la energía germicida. Unidades

La potencia absorbida por las lámparas germicidas se expresa, naturalmente, en vatios. La energía germicida radiada se expresa en milivatios a la frecuencia de $\lambda = 2.537$. Así, si una lámpara germicida de 30 vatios tiene un rendimiento del 15 %, su radiación germicida será de $30 \times 0,15 =$

= 4,5 vatios o 4.500 milivatios. Es decir, radiará 4.500 milivatios de energía de longitud de onda 2.537 A.

La potencia germicida que llega a una superficie se expresa en microvatios por centímetro cuadrado, unidad que tiene analogía con el "dux" empleado en luminotecnia. La eficacia de una radiación germicida sobre una superficie es función de esta potencia por unidad de superficie y, además, del tiempo de aplicación, es decir, de la *exposición*, que es el producto de la potencia en microvatios/cm.² por el tiempo.

La intensidad de radiación germicida en una dirección determinada (concepto similar al de intensidad luminosa, que se mide en *lumens*), se expresa en microvatios por cm.² a 1 metro de distancia. Aplicando la ley del cuadrado de la distancia, puede determinarse el efecto a una distancia cualquiera dividiendo la intensidad germicida en aquella dirección (microvatios por cm.² a 1 metro de distancia) por el cuadrado de la distancia en metros. Claro está que la ley del cuadrado sólo podría aplicarse con exactitud si el foco generador de energía germicida fuese un punto, pero se acepta como suficientemente aproximada cuando la distancia es superior al quíntuplo de la mayor dimensión del elemento luminoso (su longitud, en caso de lámparas tubulares) *.

Para calcular la eficiencia germicida de una instalación o para proyectar instalaciones capaces de producir un efecto germicida determinado, tendría gran interés conocer la relación entre la potencia germicida útil radiada por una lámpara (milivatios) y la intensidad de una dirección determinada (microvatios por cm.² a 1 metro de distancia). Se comprende que no exista una relación fija entre estas dos magnitudes, porque depende de la distribución de la energía, que no es igual en los diferentes tipos de lámpara. En el caso de lámparas de forma tubular, que son las de uso más generalizado, la compañía americana Sylvania, constructora de esta clase de lámparas, indica que, para estimaciones aproximadas, la relación entre la potencia emitida, en milivatios y la intensidad en una dirección (microvatios por cm.² a 1 metro de distancia), puede considerarse igual a 90, cifra suficientemente aproximada para cálculos prácticos. Aplicando esta relación simplificadora al caso de la lámpara antes supuesta, que emite 4.500

* No obstante, el Dr. LUCKIESH, autoridad indiscutida en estas cuestiones, afirma que con lámparas germicidas tubulares de 15 vatios, la ley del cuadrado puede aplicarse a las radiaciones de dirección perpendicular a la lámpara, con tal que la distancia sea superior a 1 metro. Asimismo, con lámparas de 8 vatios la ley puede aplicarse, aún cuando la distancia sólo sea de 60 cm. Si la potencia de la lámpara es mayor, la distancia también debe ser mayor; con lámparas de 30 vatios recomienda como distancia mínima para aplicar la ley, la de 1,80 metros de la lámpara.

milivatios de energía germicida, la intensidad en una dirección perpendicular será de $4.500/90 = 50$ microvatios por cm^2 a 1 metro.

Como que las lámparas germicidas emiten la casi totalidad de la energía a la frecuencia $\lambda = 2.537$, todos los cálculos y estimaciones se refieren siempre a esta frecuencia, lo que permite expresar la potencia simplemente en vatios, tal como se ha indicado. No ocurre lo mismo con las lámparas para efectos terapéuticos eritematosos, que emiten diferentes longitudes de onda. Por esta causa, en la técnica de las lámparas eritematosas, se ha hecho necesario valorarlas según su aptitud para producir eritema, refiriéndolas a su equivalente de determinada longitud de onda. Esto ha conducido a adoptar una unidad E-Viton, que es el flujo de igual poder eritematoso que 10 microvatios de energía radiante de $\lambda = 2.967$, que es la de máximo efecto eritematoso.

También se ha adoptado una unidad de densidad de flujo eritematoso, igual a un E-Viton por cm^2 , que se ha denominado "finsen".

Si bien se pensó en emplear para la energía germicida una unidad similar al E-Viton, que se llamaría Viton germicida o G-Viton, no ha tenido aplicación práctica, ya que, como queda dicho, la energía germicida se expresa en vatios y sus submúltiplos, pues, gracias a la generalización del uso de las radiaciones de igual longitud de onda ($\lambda = 2.537$), no son necesarias unidades especiales.

Energía necesaria para la destrucción de gérmenes

Para destruir gérmenes es necesaria una determinada intensidad de radiación, aplicada durante un tiempo suficiente, porque los gérmenes no mueren instantáneamente, es decir, es necesaria una exposición determinada, que varía en las diferentes especies de microorganismos, etc. La tabla que reproducimos del Manual oficial de la "Illuminating Engineering Society" de Nueva York, indica la energía necesaria para matar los gérmenes enumerados, expresada en el producto de la potencia en microvatios/ cm^2 por el tiempo de aplicación en segundos.

La eficacia bactericida es proporcional al producto de la intensidad (microvatios/ cm^2) multiplicada por el tiempo, desde un microsegundo hasta algunas horas.

Otra tabla de interés es la que reproducimos del Boletín Técnico Silvania, en la que se indica el tiempo necesario para la esterilización total (destrucción de todas las bacterias y hongos) a la distancia de 30 cm. de las lámparas.

Energía necesaria para destruir el 90 % de los microorganismos

BACTERIAS	ENERGIA ($\mu\text{w}/\text{cm}^2\text{-seg.}$)
Bacillus anthracis	4.520
S. enteritidis	4.000
B. Megatherium sp.	1.300
B. Megatherium sp. (<i>esporos</i>)	2.730
B. paratyphosis	3.200
B. subtilis	7.100
B. subtilis (<i>esporos</i>)	12.000
Corynebacterium diphtheriae	3.370
Eberthella typhosa	2.140
Escherichia coli	3.000
Micrococcus candidus	6.050
Micrococcus sphaeroides	10.000
Neisseria catarrhalis	4.400
Phytomonas tumefaciens	4.400
Proteus vulgaris	2.640
Pseudomonas aeruginosa	5.500
Pseudomonas fluorescens	3.500
S. typhimurium	8.000
Sarcina lutea	19.700
Serratia marcescens	2.420
Bacillus dysenteriae	2.200
Shigella paradysenteriae	1.680
Spirillum rubrum	4.400
Staphylococcus albus	1.840
Staphylococcus auerus	2.600
Streptococcus hemolyticus	2.160
Streptococcus lactis	6.150
Streptococcus viridans	2.000

HONGOS	ENERGIA ($\mu\text{w}/\text{cm}^2\text{-seg.}$)
Saccharomyces ellipsoideus	6.000
Saccharomyces sp.	8.000
Saccharomyces cerevisias	6.000
Levadura de cerveza	3.300
Fermento de levadura de pan	3.900

Ensayos y verificación de la eficacia germicida

La eficacia de las lámparas germicidas ha quedado demostrada por numerosos investigadores. La fig. 7 es una reproducción del resultado obte-

nido sobre muestras tomadas en locales habitados, en donde se aprecian las bacterias que se encuentran en suspensión en el aire de un local no sometido a irradiación germicida y su desaparición cuando se encienden las lámparas germicidas. Las muestras 1 son las tomadas antes de encender las lámparas y las muestras 2 y 3 fueron tomadas, respectivamente,

ESPOROS DE HONGO	COLOR	ENERGIA ($\mu\text{w}/\text{cm}^2\text{-seg.}$)
Penicillium roqueforti	Verde	13.000
Penicillium expansum	Oliva	13.000
Penicillium digitatum	Oliva	44.000
Aspergillus glaucus	Verde azulado	44.000
Aspergillus flavus	Verde amarillento	60.000
Aspergillus niger	Negro	132.000
Rhizopus nigricans	Negro	111.000
Mucor racemosus A.	Gris blanco	17.000
Mucor racemosus B.	Gris blanco	17.000
Oospora lactis	Blanco	5.000

a los 15 y 30 minutos de encenderlas. Nótese la completa desaparición de bacterias a los 30 minutos y la gran disminución obtenida a los 15 minutos.

La fig. 8 ofrece también una prueba de la eficacia de las irradiaciones de las lámparas germicidas.

	Intensidad germicida en microvatios/cm ² a 1 m.			
	80	30	10	1
Bacterias	8 seg.	22 seg.	67 seg.	11 min.
Moho corriente	3 min.	8 min.	22 min.	4 hors.
Moho negro	7 min.	18 min.	56 min.	10 hors.

En el Laboratorio Municipal de Barcelona, fueron efectuados ensayos de una vitrina destinada a contener alimentos, colocando en el lugar que éstos deben ocupar placas de Petri sembradas con estafilococos, estreptococos y bacilos de Eberth, resultando suficiente una irradiación de 5 minutos para conseguir la esterilización. También se efectuaron pruebas de esterilización del aire de una habitación en la que había sido hecha una pulverización de *bacillus prodigiosus* en nube-aerosol, consiguiéndose igualmente excelentes resultados.

Producción de ozono. Sus ventajas e inconvenientes

Las radiaciones ultravioletas de frecuencia $\lambda = 1.850$ angstroms, obran sobre el oxígeno del aire y producen ozono. Una proporción de ozono superior a una diezmillonésima sería perjudicial para el aparato respiratorio, pero, por otra parte, el ozono tiene estimables propiedades desodorantes, bactericidas y fungicidas, por lo que, en determinados casos, puede ser útil y conveniente.

En la protección de productos alimenticios, la producción controlada de ozono puede ser un excelente complemento de la irradiación germicida,

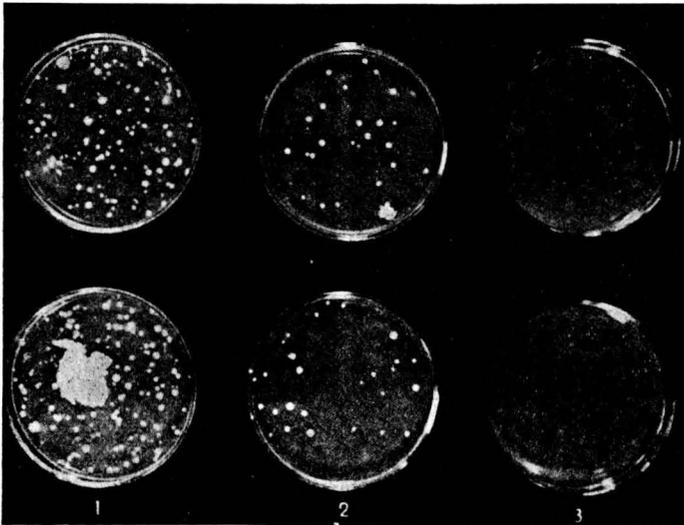


Fig. 7. — Destrucción de microorganismos a los 15 y 30 minutos de irradiación germicida. (Reproducido del *Engineering Bulletin Germicidal Lamps*). Las muestras 1 son las tomadas en un local antes de encender las lámparas germicidas y las muestras 2 y 3 fueron tomadas, respectivamente, a los 15 y 30 minutos de encenderlas.

ya que el ozono, que se difunde rápidamente en el aire, puede llevar la acción germicida hasta los puntos y rincones no alcanzados por los rayos ultravioleta. En la conservación de alimentos, aún cabe señalar que el ozono, gracias a sus propiedades desodorantes evita la contaminación de sabores entre alimentos de diferente naturaleza guardados en el mismo recinto.

Se construyen lámparas de rayos ultravioleta con dos clases de cristal. Ambas clases se dejan atravesar fácilmente por las radiaciones $\lambda = 2.537$, pero una de ellas permite, además, el paso de una pequeña cantidad de

energía a $\lambda = 1.850$. Las lámparas provistas de cristal de esta última clase son productoras de ozono y su uso debe circunscribirse a los casos en que interese este agente. Las lámparas que no radian energía a $\lambda = 1.850$ deben ser las elegidas cuando la producción de ozono sea peligrosa o inconveniente.

Reflexión de las radiaciones germicidas

Las radiaciones ultravioleta germicidas cumplen, como es natural, las leyes de la energía radiante. Al estudiar la medición y unidades de esta energía, hemos mencionado la ley que establece que su eficacia disminuye en proporción al cuadrado de la distancia. También nos hemos referido

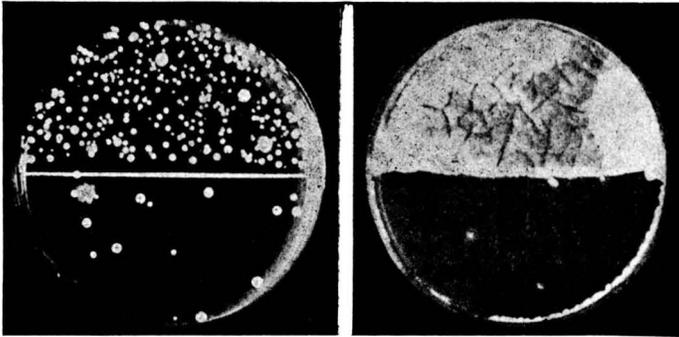


Fig. 8. — Efecto de las radiaciones germicidas sobre *Staphilococcus aureus* y *Penicillium crysogenum*. La mitad superior no ha sido irradiada; la mitad inferior ha sido sometida a radiaciones germicidas. (Reproducción de *Magazine of Light*, vol. 30, n.º 3).

anteriormente a su poder de penetración. Las radiaciones ultravioleta cumplen, además, la ley de Grotthus-Draper que establece que la energía radiante sólo produce efectos cuando es absorbida.

En lo que respecta a la reflexión, presenta gran interés el coeficiente de reflexión (tanto por ciento de energía reflejada), porque en la aplicación práctica de las radiaciones germicidas, se presentan casos en que conviene reflejarlas sobre los puntos cuya esterilización interesa y también casos en que conviene evitar la reflexión, que podría tener efectos nocivos.

Realización práctica de las instalaciones germicidas Orientaciones fundamentales

En toda instalación germicida es fundamental tener en cuenta que los rayos ultravioleta sólo pueden transmitirse en línea recta y que su poder de penetración es muy pequeño, de modo que su acción debe ejercerse sobre

la propia superficie de los microorganismos. Así, pues, la instalación debe realizarse de modo que las bacterias, moho, fermentos, etc., reciban los rayos (directos o reflejados) emitidos por las lámparas germicidas.

Otra consideración a tener en cuenta es que, como quiera que muchos gérmenes se reproducen con gran rapidez, es necesario que la potencia de las radiaciones sea suficiente para matarlos en un tiempo inferior al de un ciclo generativo, el cual, en las bacterias más corrientes, puede reducirse a 40 minutos.

Precauciones indispensables

Las lámparas germicidas son también eritematosas. El eritema o quemaduras producidas por estas lámparas no acostumbra a venir acompañado de efectos importantes de pigmentación o curtido del cutis. Al instalar lámparas germicidas, deben tomarse precauciones para evitar la exposición directa de la piel a las radiaciones.

Los efectos de estas radiaciones deben evitarse especialmente en los ojos, en donde atacan a los tejidos, produciendo conjuntivitis que, si bien es pasajera, puede resultar molesta.

Es fácil evitar todo efecto perjudicial de las lámparas germicidas, pues, teniendo en cuenta que las radiaciones sólo pueden transmitirse en línea recta y que son absorbidas por la mayor parte de los materiales, incluido el vidrio y cristal ordinarios, siempre es factible hacer la instalación de manera que se evite todo efecto nocivo.

Aplicaciones de las radiaciones germicidas

Las numerosas aplicaciones de las radiaciones ultravioleta germicidas pueden dividirse en dos grupos: protección de personas y protección de productos. La primera se realiza, en general, desinfectando el aire en disposiciones que evitan la acción directa de los rayos ultravioleta sobre las personas. En la protección de productos, por el contrario, las radiaciones se dirigen, generalmente, sobre los objetos que se desea librar de bacterias.

Importancia de la desinfección del aire

Los trabajos de numerosos investigadores han demostrado hasta la evidencia que las más graves enfermedades pueden ser fácilmente transmitidas por organismos transportados por el aire. Al toser o estornudar, el enfermo lanza al aire diminutas gotitas que contienen los microorganismos; estas gotas se evaporan fácilmente, dejando en suspensión en el aire los gérmenes que, al ser respirados, ocasionarán el contagio.

Las lámparas germicidas son un medio útil para desinfectar el aire. Antes de su adopción, los preceptos de la higiene que nos hacían evitar contactos con otros seres, especialmente los enfermos, así como la ingestión de alimentos o bebidas infectadas, no podían evitar que respirásemos aire expirado por otras personas y adquirir así infecciones de todas clases, desde el resfriado a la tuberculosis. El único medio de defensa era la abundante ventilación, recurso muchas veces inaplicable y siempre insuficiente y falto de garantía.

Las radiaciones germicidas permiten esterilizar el aire, destruyendo las bacterias en suspensión, y establecer barreras invisibles que impiden el

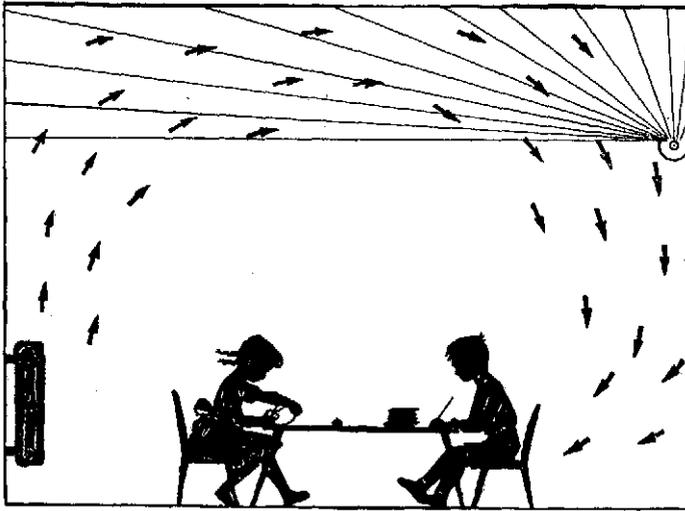


Fig. 9. — Habitación infantil con instalación germicida. Las flechas indican la trayectoria del aire.

paso o transmisión de bacterias vivas, capaces de reproducirse y contagiar a otras personas. El estado actual de la técnica hace posible la fabricación de elementos generadores de radiaciones germicidas en cantidades considerables y a precios asequibles, lo que, sin duda, impulsará la generalización de este poderoso sistema de esterilización.

Instalaciones germicidas para desinfección del aire

En los locales dotados de sistema de acondicionamiento de aire, la instalación germicida puede efectuarse en los conductos de entrada de aire, instalando lámparas germicidas de la potencia conveniente; las radiaciones no alcanzarán a los ocupantes del local, por lo que no son necesarias pre-

cauciones especiales. Cuando, por el contrario, se trata de desinfectar el aire de un local ocupado por personas o animales, es necesario que las radiaciones no incidan sobre los ocupantes, que podrían experimentar efectos nocivos.

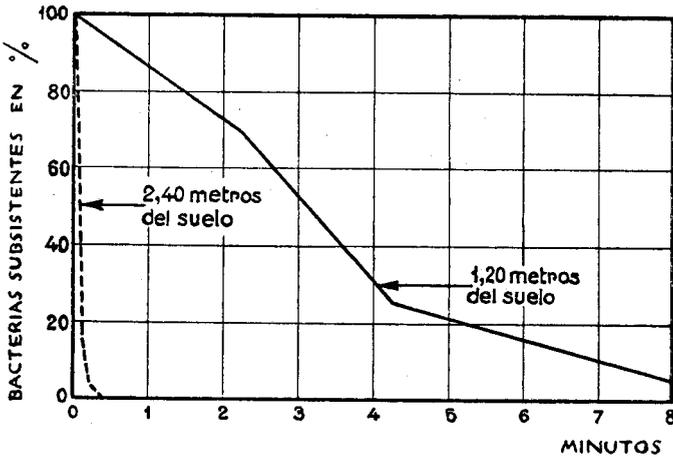


Fig. 10. — Desaparición de los gérmenes en la parte superior y en la parte inferior de una habitación irradiada solamente en la parte superior. (Reproducida de "Air sanitation with G. E. Germicidal Tubes", editado por G. E. C.).

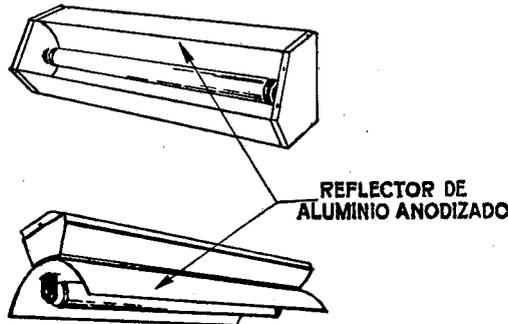


Fig. 11. — Aplique para la lámpara germicida, "Friolite", con reflector de aluminio anodizado.

Para ello, las lámparas se disponen de manera que sus radiaciones sólo se extiendan por la parte superior del local, a una altura de unos dos metros, de modo que sólo es irradiado el aire por encima de esta altura. Ahora bien, en todo local se producen siempre pequeños movimientos de aire, que reemplazan el de la parte inferior por el ya irradiado en la superior, consiguiéndose de este modo que muy pronto todo el aire contenido en el local haya sido sometido a la irradiación germicida (fig. 9). Si

en la habitación existen radiadores, estufas o algún otro medio de calefacción, favorecen las corrientes de aire por convección, contribuyendo a acelerar la sustitución del aire ya esterilizado por el que se encontraba en la parte inferior del local.

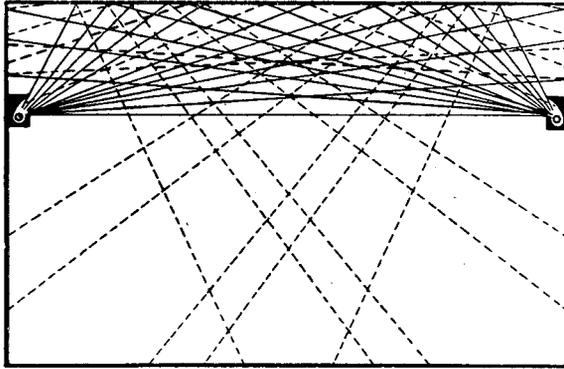


Fig. 12. — Trayectoria de los rayos germicidas cuando se desea evitar radiaciones de importancia en la parte inferior del local.

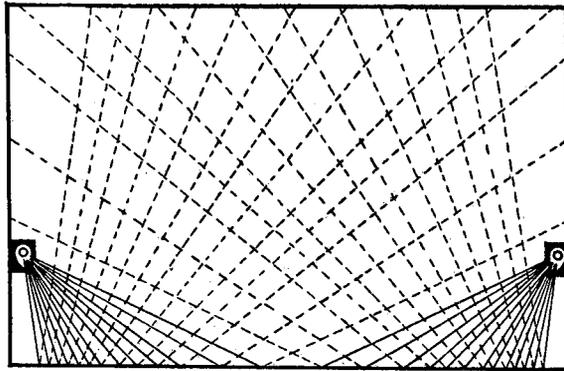


Fig. 13. — Trayectoria de los rayos germicidas cuando interesa recibir radiación indirecta sobre el plano de trabajo.

Una indicación de la forma en que se verifica la esterilización del aire en un local irradiado solamente en su parte superior, puede verse en la fig. 10, que reproducimos de documentación facilitada por G. E. Co. La curva de puntos indica la rápida desaparición de bacterias en el aire a una altura de 2,4 metros, es decir, en el aire directamente irradiado. La curva de trazo seguido representa la progresiva disminución de bacterias a la altura de 1,2 metros del suelo. Ciertamente, en esta última zona, la desapa-

rición de bacterias, conseguida por los movimientos del aire antes explicados, no es tan rápida como en la zona irradiada directamente, pero en pocos minutos se consigue también su esterilización práctica.

La lámpara germicida de la habitación infantil de la fig. 10 está montada sobre un aplique especial de aluminio anodizado (fig. 11). La superficie de aluminio anodizado posee considerable poder de reflexión para las radiaciones ultravioleta.

En las figs. 12 y 13 se representan dos tipos de disposición de lámparas germicidas. La disposición de la fig. 12 mantiene la casi totalidad de las radiaciones en la parte superior del local, mientras que en la fig. 13 los rayos reflejados alcanzan la parte inferior.

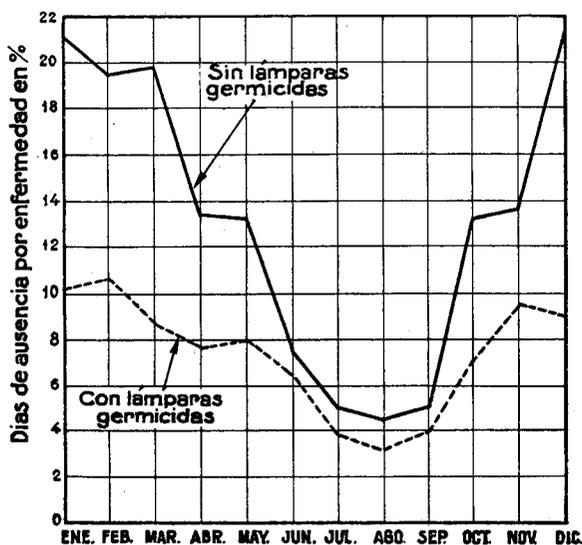


Fig. 14. — Curvas de ausencias por enfermedades respiratorias, publicadas por el "National Child Research Center" de Washington.

Existen materiales de revestimiento para las paredes de muy distintas características de reflexión, lo que permite elegir, en cada caso, los más convenientes a la finalidad deseada. Así, por ejemplo, cuando interesa un elevado factor de reflexión a la luz visible y bajo factor de reflexión para las radiaciones germicidas (lo que suele ser conveniente en los techos de locales habitados), pueden emplearse ventajosamente las pinturas blancas a base de óxido de cinc. También darán buenos resultados las pinturas de óxido de titanio, que poseen mayor opacidad o poder recubridor. Por el contrario, los techos de yeso blanco sin pintar o pintados a la cola, así

como las superficies recubiertas con papel reflejan parte considerable de la energía germicida incidente.

Barreras o cortinas germicidas

La facilidad de instalación de las lámparas germicidas permite adaptarlas de muy diferentes formas, siempre teniendo en cuenta las orientaciones y precauciones fundamentales que ya han sido indicadas en el apartado encabezado con este epígrafe. Gracias a la mencionada facilidad, no sólo es posible disponerlas en las formas representadas en las figuras 9, 12 y 13, sino también estableciendo barreras o cortinas germicidas, como las representadas en la fig. 15. Obsérvese en esta figura la barrera entre las

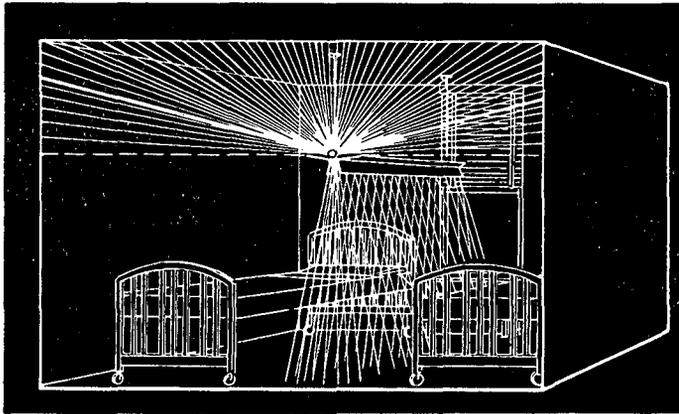


Fig. 15. — Barrera germicida entre las dos camas de un dormitorio en el que existe, además, instalación germicida en la parte superior.

dos camas del mismo dormitorio, además de la irradiación de la parte superior.

Empleo de lámparas germicidas en clínicas y hospitales

Permiten desinfectar el aire de las salas donde conviven varios pacientes. Las ventajas de la instalación germicida en estas salas no necesitan ser encomiadas, especialmente en los Servicios de Pediatría.

En los pasillos se instalan lámparas germicidas dispuestas de modo que forman "barreras" para impedir la transmisión de gérmenes de unas a otras dependencias, o entre los boxes o cubículos de lactantes. En locales tales como las cocinas, las dependencias en que se preparan las batas y

Los instrumentos para operaciones quirúrgicas, los lavaderos, planchadoras, etc., ofrecen extenso campo de aplicación a las radiaciones germicidas.

Desinfección del aire en los quirófanos

He aquí una de las más notables aplicaciones de las lámparas germicidas en la esterilización del aire. En los quirófanos se han venido realizando progresivos esfuerzos y perfeccionamientos contra la infección, pero queda un fallo: el aire. La fig. 16 representa un quirófano equipado con lámparas germicidas que irradian la parte superior y la parte más inferior de la sala; además, una enfermera dirige rayos germicidas directamente sobre la herida. En esta forma se obtienen resultados satisfactorios sin

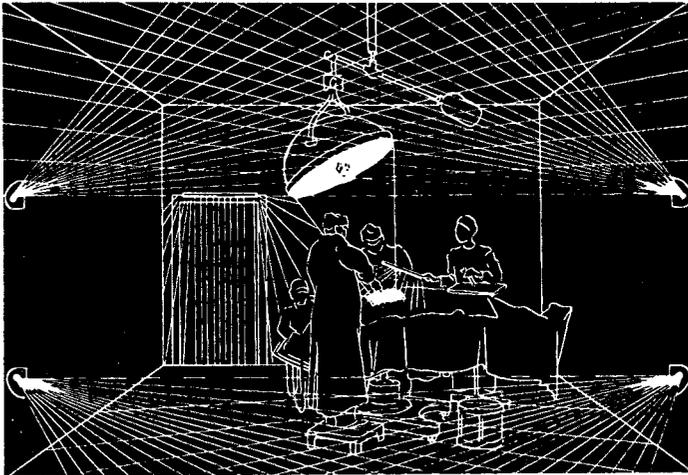


Fig. 16. — Quirófano con lámparas germicidas.

necesidad de irradiar todo el local, lo que obligaría al cirujano y ayudantes a protegerse contra los rayos ultravioleta.

El problema de desinfección de aire en los quirófanos es especialmente grave en la cirugía del cerebro y en la toracoplastia, operaciones en que el peligro de infección es considerable y su tratamiento posterior es difícil.

Además de la desinfección del aire, los elementos germicidas pueden emplearse para conservar aséptico el instrumental y otras aplicaciones. En los quirófanos se acostumbra a emplear intensidades de irradiación de calor doble al ordinario.

Otras aplicaciones de las lámparas germicidas

Como ya se ha indicado, además de la desinfección del aire para la protección de personas, las lámparas germicidas tienen numerosísimas aplicaciones de gran interés. A continuación se indican algunos ejemplos.

Desinfección del agua

Aunque la aplicación de las radiaciones ultravioletas germicidas a la desinfección del agua presenta considerable interés, no podemos detallar aquí los diferentes procedimientos empleados, pues su exposición, aún abreviada, ocuparía un espacio excesivo. Nos limitaremos a dejar consignada la diferencia fundamental entre la esterilización del agua contenida en un depósito (caso en el cual la radiación germicida puede mantenerse durante todo el tiempo que sea necesario) y la esterilización de agua corriente, a su paso por el equipo germicida.

Las lámparas germicidas pueden estar sumergidas en el agua o colocadas fuera de ella y provistas de reflector. En estas instalaciones debe tenerse en cuenta que el agua absorbe las radiaciones germicidas, en mayor o menor grado según su composición química y bacteriológica; se admite que un espesor de 5 cm. de agua de calidad corriente absorbe completamente la radiación ultravioleta, lo que obliga a adoptar disposiciones adecuadas para evitar que parte del agua deje de ser sometida a la irradiación.

Irradiación de plasma sanguíneo

Durante la segunda guerra mundial se adquirió la sospecha de que en las transfusiones de plasma sanguíneo podían transmitirse las hepatitis virales, sospecha que quedó confirmada en 1946, evidenciándose la necesidad de destruir los gérmenes que pudieran existir en el plasma sanguíneo destinado a transfusiones. Pero para la aplicación de rayos germicidas al plasma existe la dificultad de que estos rayos no pueden atravesar espesores apreciables de sangre; esta dificultad quedó orillada mediante un aparato especial, estudiado por los doctores HABEL y SOCKRIDER, del "National Institute of Health", de los Estados Unidos de América, mediante el cual el plasma es irradiado en película muy delgada.

En la actualidad, se exige la irradiación del plasma sanguíneo en los cuerpos armados y para usos civiles en Norteamérica, si bien algunos virus son extraordinariamente resistentes.

Las lámparas germicidas en los laboratorios de investigación

En los laboratorios donde se trabaja con microbios patógenos, existe un evidente peligro de infección para el personal, peligro que no siempre puede obviarse con técnicas asépticas, porque éstas no pueden evitar la propagación de gérmenes por el aire. En estos casos, las lámparas germicidas son un recurso precioso para la protección de los investigadores.

Como verificación de la eficacia de las barreras germicidas ante la transmisión de gérmenes patógenos, el doctor LURIE realizó el siguiente ensayo: se dispusieron dos hileras de jaulas individuales de conejos, en una de las cuales los conejos estaban sanos, mientras que en la otra estaban inoculados con bacilos de Koch. Se demostró experimentalmente que en condiciones normales, los conejos infectados contagiaban a los sanos a través del aire entre las dos hileras. Al irradiar la zona entre ambas hileras con lámparas germicidas, se evitó el contagio.

Resultados obtenidos

Entre los numerosos informes que prueban la eficacia práctica de las instalaciones germicidas, daremos un resumen emitido en Washington por el "National Child Research Center", referente al comportamiento de las lámparas germicidas en escuelas de párvulos, del tipo "jardín de infancia", bien regidas.

El estudio consiste en la comparación entre el tanto por ciento de ausencias por enfermedades respiratorias e infecciosas en los años anteriores a la instalación de lámparas germicidas y en los años siguientes a su instalación y queda resumido en la curva de la fig. 14.

Como puede verse, en los meses de invierno la instalación de lámparas germicidas hizo bajar a la mitad el porcentaje de ausencias, demostrando así su eficacia. En los meses de verano, la reducción es menor, porque los niños ya pasan la mayor parte del tiempo al aire libre.

Si en locales tan bien dotados desde el punto de vista higiénico, ha sido tan eficaz la instalación germicida, más notables aún serían sus resultados en escuelas de inferiores condiciones higiénicas.

En las escuelas públicas de Germantown, en los Estados Unidos, se instalaron lámparas germicidas en las clases de párvulos. Al presentarse una epidemia de sarampión resultó que el número de atacados fué mucho menor entre los párvulos que entre los mayores, en cuyas clases no existían lámparas germicidas, a pesar de que normalmente esta enfermedad provoca el mayor número de enfermos en los párvulos. Tan intensa epidemia llegó a provocar entre los mayores un 23 % de atacados, mientras que en los

párvulos, indudablemente más susceptibles, pero defendidos por los rayos germicidas, el porcentaje de enfermos no llegó al 4 %.

Desde el establecimiento de los Servicios de Prematuros es sabida la importancia extraordinaria que, en su cuidado, tiene la asepsia, especialmente en los prematuros pequeños o débiles; desde la adopción por HESS en su Servicio de las lámparas germicidas, su uso se ha extendido considerablemente. Ultimamente, TOBLER hace uno de sus más encendidos elogios al afirmar que desde su instalación han disminuído extraordinariamente las infecciones cruzadas entre los prematuros de su Servicio, habiéndose, además, anulado por completo los casos de neumonía intersticial, los cuales eran, anteriormente, de curso mortal.

De lo expuesto se desprende, pues, que las lámparas germicidas son una aportación valiosa a la profilaxis de las infecciones cruzadas en los niños.