

MEDICION DE LAS RADIACIONES ULTRAVIOLETAS PARA USOS TERAPEUTICOS *

Por W. W. COBLENTZ **

PREÁMBULO

Entre todas las investigaciones radiométricas que han ocupado nuestra atención durante los últimos treinta años creemos que la que más dificultades presenta es la que se refiere a la valoración y medida de la radiación ultravioleta para aplicarla a usos terapéuticos.

Lo difícil del problema reside en el hecho de que aún no se ha podido determinar de una manera definitiva la banda cuyas longitudes de onda poseen una acción terapéutica. En realidad de verdad, todo lo que sabemos hoy con entera certeza es que la radiación ultravioleta cuyas longitudes son inferiores a 3150A, poco más o menos, tiene la propiedad de evitar y curar el raquitismo. Sabemos también que ciertos alimentos y substancias oleosas se activan con la radiación ultravioleta (p. ej., el ergosterol) y adquieren a su vez virtud preventiva o curativa del raquitismo cuando con ellos se alimenta a animales jóvenes en período de crecimiento y criados a la sombra sin recibir la acción de los rayos ultravioletas de la luz solar. Hase observado asimismo que la acción de dichos rayos posee cierta virtud curativa específica contra algunas formas quirúrgicas de la tuberculosis y de la piel (*lupus vulgaris*).

La gigantesca propaganda que se ha venido haciendo últimamente con vista a la explotación comercial de la radiación ultravioleta producida artificialmente, con objeto de aplicarla como universal panacea de casi todas las enfermedades humanas no tiene apenas más fundamento que el hecho conocido de sus propiedades curativas sobre el raquitismo. Si bien es cierto que, además de esta última acción terapéutica,

* Conferencia pronunciada ante el Cuerpo Facultativo de la Escuela de Medicina Tropical de la Universidad de Puerto Rico, en San Juan, la noche del 7 de febrero de 1935.

** Especialista en Física del *National Bureau of Standards* de los Estados Unidos, miembro del Consejo de Fisioterapia de la Asociación Médica Americana y miembro delegado de los Estados Unidos, ante el Comité Internacional para la regulación y medición de la radiación ultravioleta en relación con sus aplicaciones terapéuticas.

Recibido en redacción el 8 de febrero de 1935.

poseen los rayos ultravioletas, sobre todo los contenidos en la luz solar, cierta acción vigorizadora del organismo humano, no es menos cierto que los que invocan estas propiedades como prueba de su importancia en la vida del hombre, no han prestado la debida atención a otras circunstancias concomitantes de orden fisiológico y climático: tales, p.ej., el régimen alimenticio habitual, la temperatura ambiente, la humedad y los vientos reinantes, etc., en una palabra, el *milieu* en que viven los sujetos sometidos a observación.

En medio del auge inusitado que experimentó el comercio en los tres o cuatro años que precedieron al 1934, brotó una industria nueva y pujante: la manufactura de lámparas de luz ultravioleta, utilizando para este propósito cuanta fuente de radiación imaginable, menos las velas de sebo o el candil de aceite con que se alumbraron nuestros antepasados. Así, pues, no extrañará a nadie si decimos que, entre las muchas y variadas consultas técnicas que recibíamos en nuestros laboratorios de Washington, hay algunas preguntando por la cuantía de radiación ultravioleta que podría emitir una hoguera de leña o una lámpara de petróleo, y, por consiguiente, que nos vimos obligados a utilizar radiómetros especialmente diseñados y extremadamente sensibles a la radiación ultravioleta para poder demostrar que una estufa de gas, aunque se le provea con un quemador de barro muy poroso, no sirve para ser utilizada como generador de luz ultravioleta de suficiente intensidad curativa.

Al ver el auge que iba tomando esta lampistería terapéutica en toda la nación, el Consejo de Fisioterapia de la Asociación Médica Americana se vió obligado a tomar cartas en el asunto, no solamente para evitar el descrédito de los aparatos de acción específica bien conocida, sino también para proteger a la profesión médica y al público, y evitar que fueran explotados al comprar artefactos, fabricados en el país o en el extranjero, de calidad inferior y de valor terapéutico desconocido.

Aunque todavía queda mucho por conocer, es indudable que hemos progresado un poco en las aplicaciones terapéuticas de los rayos ultravioletas e infrarrojos. El calificativo "infrarrojo", por cierto, parece haber caído muy en gracia entre el público lego, que no se para a pensar que los rayos que caen por debajo de la banda roja del espectro, no son más

que los rayos calóricos, los cuales pueden ser emitidos por cualquier objeto cuya temperatura sea más alta que la del medio que le rodea.

I. Consideraciones sobre los métodos puestos en práctica para medir las radiaciones de luz ultravioleta

Es evidente que para evaluar el estímulo radiante (lo mismo el ultravioleta que el infrarrojo) y poder aplicarle a usos terapéuticos o biológicos, deberá escogerse una base objetiva de contraste: fenómenos fisiológicos definidos que puedan ser reproducidos a voluntad en cualquier momento, con absoluta independencia del observador y de los instrumentos que se empleen en verificar la determinación, y no deberán necesitarse medios especiales para averiguar la correspondencia que exista entre la unidad de medida y los efectos biológicos. Los investigadores están desde hace tiempo tratando de establecer un método biológico que les permita valorar los distintos efectos (biológicos, fotoquímicos, eritematógenos, etc.) de la radiación ultravioleta, pero, según parece, no han parado mientes que las distintas reacciones que se observan ante la energía radiante son muy complejas y que, por regla general, no son proporcionales a la intensidad del estímulo radiante. Según opinión de Ponzio¹⁵, existen tantos factores modificadores de la reacción específica de los diferentes tejidos que hay que descartar casi en absoluto la posibilidad de establecer una unidad específica de medida.

Véase si no lo que ocurre con la acción fotoquímica de la luz ultravioleta sobre los gases de acetona, cuya fotólisis depende de varios factores, entre otros, la presión del gas y la intensidad de la radiación incidente (de comienzo); pues el rendimiento cuántico (*quantum yield*) del producto fotoquímico aumenta según decrece su intensidad². Por eso cuando, a la inversa, se utiliza la reacción fotoquímica de un producto (p. ej., acetona, azul de metileno . . .) para medir la intensidad de la radiación ultravioleta, se está expuesto a caer en numerosos errores, que le quitan al método casi todo su valor, en aquellos casos en que es imprescindible obtener medidas de gran precisión. Por todas estas razones la tendencia actual en la ciencia consiste en evaluar las reacciones fotoquímicas, fisiológicas y biológicas, utilizando como término de comparación un foco de energía de valor

absoluto definido que se pueda utilizar a voluntad¹. Basándonos principalmente en datos de experimentación, presentamos en la Asamblea del Comité Internacional para la regularización de la luz ultravioleta para su uso en medicina, en el Congreso de la Luz celebrado en Copenhague, el 1932¹, una comunicación recomendando el empleo de aparatos radiométricos de unidades absolutas basadas en medios físicos, para medir los estímulos que produce la radiación ultravioleta dejando para más adelante establecer las relaciones que deben existir entre las unidades de medidas y las reacciones biológicas (la eritematogena, p. ej.).

Existen varias reacciones fotobiológicas en las que debería determinarse la relación que pueden tener con la cuantía del estímulo radiante; tales, p. ej., la curación del raquitismo por la acción de los rayos de onda corta y por la ingestión de aceites y alimentos radioactivados, la curación de ciertas enfermedades cutáneas (*lupus vulgaris*) y la producción del eritema.

Entre las distintas reacciones biológicas hemos prestado una gran atención a la reacción eritémica que provocan los distintos colores del espectro, haciéndola objeto de una sistemática y minuciosa investigación². Las pruebas de tolerancia dérmica son fáciles de poner en práctica y deben ensayarse siempre antes de exponer el enfermo a las quemaduras que puede ocasionarle la primer exposición a un energético foco de radiación ultravioleta.

Hace algunos años, cuando empezó la manufactura de toda clase de aparatos generadores de luz ultravioleta, nos encontramos con que algunos eran de tan escasa potencia que requerían una exposición de 20 a 30 horas para producir la reacción eritémica. Tuvimos también que evacuar numerosas consultas que llegaban a nuestros laboratorios oficiales inquiriendo la manera más sencilla posible de determinar si una lámpara cualquiera emitía una cantidad apreciable de energía radiante ultravioleta. El Consejo de Fisioterapia adoptó entonces la reacción fisiológica como base radiométrica de la energía del estímulo radiante³ hasta tanto no se encontrase otro medio práctico más exacto. Utilizamos, pues, la reacción eritémica para medir los efectos de las lámparas de luz ultravioleta fundándonos en las siguientes razones: (a) sirve como índice de uso corriente para medir la tole-

rancia de la piel; (b) puede calcularse con bastante aproximación el tiempo de exposición que se necesita para producir el eritema con una lámpara de determinada intensidad radiante; (c) es un medio práctico para evitar fuertes quemaduras cuando se emplean generadores radiantes de cierta potencia, y (d) es un medio eficaz para evitar la venta fraudulenta de aparatos con escasa o nula energía radiante, tales como los que se anuncian para evitar el raquitismo, que emiten únicamente radiaciones con longitud de onda superiores a 3130A.

Este es, pues, el criterio adoptado por el Consejo de Fisioterapia para aceptar o no las lámparas productoras de luz ultravioleta⁴; criterio en absoluto independiente de las supuestas propiedades terapéuticas de los aparatos. Si uno se fuera a guiar por los anuncios de los fabricantes y de las listas de dolencias a que son aplicables los rayos ultravioletas, habría que incluir casi toda la patología bajo la acción protectora de la luminoterapia ultravioleta.

Desde luego, que la capacidad eritematógena de la luz de una lámpara no basta para medir su poder curativo, pero mientras existan los aparatos que actualmente se emplean en los gabinetes de los médicos, ello sirve para apreciar la tolerancia dérmica y poder así proteger la salud de los enfermos y evitar la producción de quemaduras.

A este problema de la tolerancia de la piel no se le prestó bastante atención en el Congreso Internacional de Copenhague y muchos fisiólogos se opusieron a que se adoptase la reacción eritémica como base de unidad de medida, fundándose en razones mayormente teóricas; pues la reacción dérmica, según su opinión, no obedece a una sola causa y no debe ser valorada como tal. Esperamos, a pesar de estas objeciones de orden teórico, que en la próxima Asamblea Internacional de 1936, la reacción eritémica habrá de ser aceptada como un indicador seguro para medir la tolerancia de la piel a la penetración de la luz ultravioleta y para proteger al público de los fraudes que se cometen en la manufactura de aparatos generadores y de las quemaduras que su uso pudieran provocar. Eso, en el supuesto de que para entonces no se haya encontrado un medio de mensura más simple y seguro.

Es bueno advertir que el Consejo de Fisioterapia de la Asociación Médica Americana trabaja siguiendo casi los mismos principios que recomienda el Comité Internacional para la medida y regulación del uso de los rayos ultravioletas con fines terapéuticos. Si el Consejo de Fisioterapia de la Asociación Médica Americana no sigue exactamente las recomendaciones del Comité Internacional (del cual el autor forma parte), ello se debe a que el método de mensura establecido por el Consejo fué formulado en fecha anterior y resulta, además, mucho más comprensivo que las reglas que actualmente propone el Congreso Internacional.

Durante los tres años, aproximadamente, que llevan en vigor las reglas sentadas por el Consejo para la aceptación de aparatos, no hemos tropezado con dificultades de ninguna clase. Generalmente, cuando medimos la intensidad de radiación de una lámpara y calculamos el tiempo requerido para producir una reacción eritémica perceptible (que debe desvanecerse en 24 horas), nuestros cálculos radiométricos, fundados en esta correlación eritematógena, suelen estar de acuerdo con los de los fabricantes y, cuando ocurre alguna discrepancia, nuestros cálculos suelen ser aceptados preferentemente y de buen grado.

A pesar de las diferencias de opinión tocante a la validez de la reacción eritémica para reglamentar el uso y la venta de las lámparas generadoras de luz ultravioleta, sabemos de tres de los fabricantes a que antes aludimos que habían practicado observaciones cuidadosas de la reacción eritémica de contraste en un grupo de sus obreros. No obstante las discrepancias en los resultados obtenidos entre las pruebas que ellos practicaron y las obtenidas por nosotros, lo que indica que la sensibilidad a la luz ultravioleta varía bastante en los diferentes sujetos, pudimos llegar a un acuerdo razonable, pues, si se selecciona cuidadosamente un grupo de sujetos saludables con una pigmentación dérmica más o menos uniforme, la reacción eritémica suele ser aproximadamente igual y puede ser utilizada para contrastar el poder de penetración de la luz de una lámpara. Con todo y con eso, creemos aconsejable que al tratar de determinar la tolerancia de penetración lumínica sobre la piel de un enfermo se sometan a la exposición pequeñas áreas epidérmicas antes de intentarlo sobre grandes extensiones del cuerpo.

II. Recomendaciones del Comité Internacional para Evaluar la Radiación Ultravioleta

El Comité recomienda el empleo de medios físicos radiométricos para evaluar en términos absolutos la penetración de la radiación ultravioleta, lo cual se consigue separando los rayos, al salir del foco lumínico, en las tres bandas espectrales de que se componen (A. B. C.), utilizando un radiómetro no selectivo (termopila) y tres filtros debidamente contrastados.

Las tres bandas espectrales, que designaremos con las letras *A*, *B* y *C*, tienen respectivamente, las siguientes longitudes de onda: *A*, de 4000Å a 3150Å; *B*, de 3150Å a 2800Å; *C*, con longitudes ondulatorias que oscilan entre 2800Å, a 1800Å, aproximadamente, pues el aire no permite la penetración de ondas más cortas.

Estas tres bandas espectrales poseen, según se ha comprobado, las siguientes propiedades: la *C*, germicida; la *B*, antirraquítica (activación de las sustancias alimenticias) y eritematígena; la *A*, curativa de ciertas enfermedades cutáneas (*lupus vulgaris*⁵).

El Comité Internacional de Unidades de Medida y Contraste, nos encargó preparar los aparatos pertinentes y contrastar los primeros modelos para los Institutos Nacionales de Comprobación, lo que llevamos a cabo y aun algo más que no se nos había encomendado. Tal fué, p. ej., la preparación de un filtro de cristal rojo para separar la banda espectral cuyas longitudes de onda oscilan entre 4000Å y 5500Å, y una célula de agua de 1 cm. de espesor, provista de ventanas de cristal de cuarzo, que colocadas permanentemente sobre la termopila sirven para eliminar las diferencias de transmisión de los filtros con longitudes de ondas superiores a 14000Å en la franja infrarroja. Por este medio puede valorarse el espectro total de cualquier foco de energía lumínica en forma conveniente y reproducible a voluntad.

La valoración en unidades absolutas de medidas se obtiene fácilmente utilizando un cuerpo negro o por comparación con los resultados obtenidos con una lámpara de Hefner, o, aún mejor, con una lámpara incandescente⁶ previamente contrastada con la radiación del cuerpo negro. Conviene hacer notar que es de suma importancia que para estas observaciones los fisiólogos y los médicos trabajen en

estrecha colaboración con las universidades y los institutos nacionales de contraste, que poseen los aparatos necesarios para esta clase de investigaciones.

Clase de filtros utilizados

Para el grupo de rayos A, utilizóse un filtro Noviol A, amarillo, No. 038, de 1.49 a 1.51 mm. de espesor, fabricado por *Corning Glass Works*.

Para el grupo B, uno de cristal trasparente *Barium flint*, contrastado en el *Bur. of Standards*, No. 669, de 3.10 mm. de espesor; o, en su defecto, uno de Schott-Jena, *Barium flint-4*, con un índice de refracción, $n=1.605$, de un espesor apropiado, según aparece en la Tabla I.

Para el grupo C, un cristal pyrex eléctrico, *Corning H. R.*, No. 776, espesor de 1.99 a 2.01 mm.

Para los rayos rojos, un cristal rojo de alta transmisión Schott-Jena, R. G.-1, (o *Corning*) de 2.0 mm. de espesor.

Como célula de agua, una cámara de 1 cm. de espesor llena de agua destilada con ventanas de cuarzo de 1.5 a 2 mm. de espesor.

Los filtros recomendados por el Comité Internacional para la Mensura y Contraste de la Radiación Ultravioleta deben ceñirse a las normas que aparecen en la Tabla siguiente:

TABLA I*

ESTA TABLA NOS SIRVE DE NORMA PARA CALCULAR QUE EL FILTRO DE PYREX PERMITA UNA TRANSMISION APROXIMADA DE 55 POR CIENTO DE $\lambda 3130\text{A}$; EL DE BARIUM-FLINT, UN 50 POR CIENTO APROXIMADAMENTE DE $\lambda 3340\text{A}$; y el de Noviol A un 55 por ciento, poco más o menos, de $\lambda 4358\text{A}$. LAS CIFRAS MARCADAS CON UN ASTERISCO INDICAN UNA TRANSMISION ALGO MENOR.

Longitud de onda (en Angstroms)	2804	2967	3022	3130	3340	3650	4047	4358	5461	5890	6035	6200	6900	7500
H. R. Pyrex.....	*0.5	16.5	29	54	7.5	90	91	91.5	.....	.....	92	.....	.....	92
Barium-flint.....	0	0	0	*0.5	47.5	82	87.5	88	89	90	.....	91	.....	91
Noviol-A.....	0	0	0	0	0	0	*0.3	57	89.5	90	89.5	89	88.5	86
Red Jena R. G. I..	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	12.5	71	80.5	91

* Debe notarse en la Tabla I que las transmisiones más pequeñas (inferiores al 1 por ciento) pueden medirse con bastante aproximación con el propósito de obtener la inclinación de la curva de transmisión espectral, lo cual no sería posible si el punto final en la transmisión de medida fuese cero (a menos que se emplearan cristales adicionales delgados).

Estas normas no son absolutas. Lo que se desea es que, para valorar una banda espectral determinada, se utilice un filtro, de una clase u otra, de manera tal que pueda ser empleado por otros investigadores ⁷.

Las reglas para su uso serían las siguientes: si la termopila consta de un solo receptor (cubierto con la cámara de agua) se absorben en sucesión las diferentes bandas del

espectro, siempre que se inserten respectivamente los filtros A, B, y C, teniendo cuidado de anotar la variación del galvanómetro al verificar el cambio de cada filtro.

Por otra parte, cuando se emplea una termopila preparada al efecto (cubierta con una cámara de agua^{3,1}) es preferible cubrir al mismo tiempo uno de los receptores con un filtro (p.ej., con el Barium-flint) y el compañero con un fino cristal Corex A (o de cuarzo), con lo que se consigue equilibrar la pérdida por reflexión de las ondas largas, permitiendo la trasmisión de las cortas que son interceptadas entonces por el filtro. Es preferible usar un cristal de cuarzo mejor que un Corex A, sobre todo cuando se trata de equilibrar un filtro para medir radiaciones menores de 2800A.

Es necesario siempre conocer de antemano con bastante exactitud en unidades relativas la distribución de energía espectral de las ondas cortas de cualquier foco, lo que no es difícil siempre que se trate de un foco artificial. Una vez determinada ésta deducimos de ella los factores "F", que nos sirven para valorar la energía de los grupos A, B y C.

En el espectro solar la curva de energía ultravioleta no se conoce muy bien, y hay que determinarlo aproximadamente al hacer los experimentos biológicos. Más adelante expondremos un procedimiento sencillo para ello.

III. Especificación de la intensidad de dosificación de radiación ultravioleta requerida por el Consejo de Fisioterapia.

Com hemos dicho antes, la venta al público, sin reglamentación oficial y sin inspección técnica de ninguna clase, de lámparas de radiación ultravioleta nos obligó en el Consejo de Fisioterapia⁽¹⁾ a preparar unas reglas específicas que sirvieran para calificar con un máximo de garantías las condiciones que debe reunir una lámpara de radiación ultravioleta para ser empleada como agente terapéutico⁴. Estas reglas, como hemos dicho, se fundan en la relación que debe existir entre el efecto eritemático que produce cualquier foco de energía radiante ultravioleta³ y su evaluación en unidades radiométricas. Estas reglas difieren de las del Comité Internacional en dos puntos: (a) se utiliza un solo filtro (que

⁽¹⁾ El Consejo no pretende dictaminar la dosificación de la radiación ultravioleta para usos terapéuticos, limitando sus funciones a aconsejar y tratar de proteger a la profesión médica y al público contra los anuncios falaces que se hacen para la venta de aparatos.

ya hemos mencionado, véase Ba-3, grabado 1 del texto inglés), que sirve para evaluar toda la energía radiante ultravioleta emitida por una banda de radiación heterógena, con longitudes de ondas inferiores a 3130A⁽²⁾ (esta misma longitud inclusive), las cuales tienen la propiedad de producir un eritema, y (b) se establece la correlación de la evaluación radiométrica (en unidades absolutas) con la reacción eritémica, empleando una onda de longitud homogénea, de 2967A como punto de contraste (onda standard).

Para establecer esta correlación entre la reacción fisiológica (eritémica) y la cuantía del estímulo radiante se parte del hecho de que el máximo de efectos eritémicos coincide prácticamente con la onda cuya longitud es de 2967A, onda de gran intensidad en el espectro producido por la lámpara de vapores de mercurio, que puede ser aislada fácilmente con un espectroscopio y valorada en unidades absolutas^{5,8}. Constituye, pues, la línea de emisión 2967A de esta lámpara una unidad natural standard, que podemos valorar radiométricamente en cualquier laboratorio³ y tomarla de base para determinar la cantidad de energía eritematógena de cualquier foco de radiación ultravioleta. Por lo que hace al eritema, hasta la fecha no se ha podido averiguar otra reacción biológica o fisiológica que en condiciones ordinarias permita establecer una correlación tan sencilla.

Las normas establecidas por el Consejo están en armonía con los esfuerzos que hacen los hombres de ciencia para fijar reglas precisas y reproducibles a voluntad, siempre que ello sea posible⁽³⁾.

Utilizando como estímulos ondas de una sola longitud podemos reproducir y estandarizar las reacciones que provocan. Conociendo la longitud de onda y la intensidad de la radiación estimulante en medidas absolutas, resulta fácil a otro cualquier investigador reproducir el mismo experimento.

Así, por ejemplo, utilizando^{3, 10} una onda de 2967A de longitud para medir la sensibilidad epidémica de diferentes su-

(2) En la lámpara de arco de mercurio y cuarzo la emisión radiante resulta muy poderosa. Para fines prácticos es la onda más larga con la que se pueden obtener efectos eritémicos y, si se desea, puede aislársela del resto del espectro.

(3) La unidad de longitud del sistema decimal (el metro) es un buen ejemplo de esto que decimos. Después de algunos siglos de trabajo y estudio podemos hoy definir el metro en términos de longitudes de ondas luminosas y valorarle, con relación a la onda roja emitida por el cadmio en $\lambda 6438.4696A$.

jetos, o del mismo sujeto en diferentes ocasiones, pudimos determinar experimentalmente y calcular con bastante aproximación la reacción eritémica, lo que nos ha servido para juzgar de la eficacia eritematígena de diferentes focos de radiación ultravioleta heterogéneas. Estas son las primeras investigaciones hechas sobre estas materias, las cuales pueden repetirse indefinidamente por cualquier persona y en cualquier parte, porque no dependen de normas arbitrarias escogidas al azar.

Las longitudes de onda con virtud terapéutica en el raquitismo coinciden en la misma banda espectral en que existe el poder eritematígeno. Por eso, hasta que no demos con alguna otra línea de emisión más conveniente, de intensidad más apropiada y más fácil de aislar, la línea de emisión de 2967A en la lámpara de mercurio deberá utilizarse como medida standard para valorar el poder antirraquítico y eritematígeno de cualquier aparato; y esto es de suma importancia práctica, porque la dosificación que se requiere para la curación del raquitismo depende de la tolerancia dérmica.

Además de las reglas anteriores es necesario adoptar una unidad mínima de tiempo de exposición a la luz y la distancia a que deba colocarse la lámpara. De nuestras múltiples observaciones hemos llegado a la conclusión ¹¹ de que la unidad de medida y el tiempo de exposición para usos terapéuticos no deberá pasar de 15 minutos y la distancia más conveniente deberá ser de 24 pulgadas (61 cm.), medidas desde la visera del reflector hasta la piel del sujeto.

Aunque, según nuestras observaciones, la piel tolera hasta 200,000 ergios por cm^2 como *mínimum* antes de que llegue a producir un eritema perceptible ^{3,10}, hemos creído conveniente no irradiar sobre la piel más que 180,000 ergios por cm^2 para evitar posibles quemaduras en los sujetos hipersensibles. Así pues, 15 minutos de exposición bajo una emisión de 20 microwatios por cm^2 de una onda de 2967A de longitud sería lo necesario para dar lugar a un eritema perceptible. Esta es la base adoptada por el Consejo de Fisioterapia para aceptar cualquier lámpara de radiación ultravioleta ⁴.

Para determinar en otras clases de lámparas esas mismas unidades ⁹ el Consejo de Fisioterapia ha aceptado como unidad mínima el efecto producido por ondas de longitud inferior a 3130A ^{3,10}, inclusive esta última.

Véase en la tabla 2 la clasificación de la potencia radiante de las distintas lámparas que existen en el mercado.

TABLA II

Tomando como estandard un foco de energía radiante ultravioleta con una intensidad de 20 microwatios por cm^2 en una onda de 2967A de longitud, en la tabla siguiente podrá encontrarse el equivalente eritematógeno de cualquier radiación ultravioleta procedente de focos de radiación heterogénea cuyas longitudes de onda no pasen de 3130A. Este es el requerimiento mínimo que debe llenar una lámpara cualquiera para poder producir un eritema perceptible en la piel normal durante 15 minutos de exposición. Es decir, que si la exposición durase 60 minutos en lugar de 15, los valores calculados habrán de reducirse a la cuarta parte.

Focos radiantes	Intensidad de radiación ultravioleta expresada en microwatios por cm^2 .
Luz solar: a medio día, en pleno verano, a una altitud media y al nivel del mar.....	91
Arco voltaico de carbón preparado: de llama azul, con reflector y luz directa sin pantalla.....	48
Arco voltaico: con pantalla de cristal opaca, inferior a 2800A.....	90
Arco de mercurio: <i>Mazda</i> , fabricado por la <i>General Electric</i> , tipo S-1, arco de alta temperatura con filamento incandescente de tungsteno en forma de V.....	83
Arco de mercurio: <i>Mazda</i> , tipo S-2; parecido al S-1 pero más pequeño, ambos en bulbo de vidrio.....	93
Arco de mercurio: tipo G-1 y G-5; de baja temperatura y voltaje, de emisión termiónica, en bulbo de vidrio.....	108
Arco de mercurio: de alta temperatura, con alta presión de vapor, bajo voltaje y en tubo de cuarzo.....	58
Arco de mercurio: de alta frecuencia, sin electrodos, en bulbo de cuarzo.....	60
Arco de mercurio: de baja temperatura, baja presión de vapor, alto voltaje, en tubo de cuarzo, y descarga Geissler	36

Así, pues, una vez que se conoce la distribución de la energía espectral ultravioleta de una lámpara cualquiera es fácil medir la energía total ultravioleta de las ondas cortas a partir de la de 3130A, por medio de una termopila y de un filtro de Barium-flint.

Las lámparas sometidas para inspección al Consejo eran casi todas de intensidad bastante más baja que la que se re-

quería como mínimo para ser aceptadas, pero la mayoría mejoraron al poco tiempo y los fabricantes adaptaron su fabricación a las reglas establecidas. Con todo y con eso, en el momento actual, parece ser que no hay medio de evitar que se explote al público y se le vendan aparatos ordinarios cuya emisión de luz ultravioleta es escasa o nula.

A—*Grado de exactitud de los filtros para contrastar la energía radiante:* Durante los dos últimos años hemos tenido que contrastar la perfección de los filtros que se han puesto a la venta para uso en los laboratorios que desean medir la emisión de luz ultravioleta de las lámparas dedicadas a fines terapéuticos.

En una de las investigaciones¹² participaron siete laboratorios al mismo tiempo, entre ellos el del *National Bureau of Standards*, los cuales examinaron las mismas lámparas de arco de mercurio y obtuvieron resultados concordantes todos ellos.

En el *National Bureau of Standards* se utilizó en la investigación, además del método espectrorradiométrico usado en otros laboratorios, el actinómetro compensado y el filtro-radiómetro^{3, 8}. En todas las investigaciones se pudo comprobar que la radiación ultravioleta total, observada por medio de filtros, era siempre la suma de las radiaciones parciales de las líneas espectrales individuales que ya habían sido medidas en los diferentes laboratorios con espectrorradiómetros de distintas clases.

De acuerdo con las recomendaciones del Comité Internacional, el Consejo de Fisioterapia⁴ obligó a los fabricantes de lámparas de luz ultravioleta a declarar la capacidad de energía ultravioleta de cada aparato y el tiempo que se tarda en producir una reacción eritemática perceptible.

En las muestras de lámparas que se reciben en el Consejo solicitando aceptación, no se lleva mucho tiempo en medir la energía ultravioleta y calcular su poder eritematogénico.

IV. *Método rápido para determinar la curva de energía espectral ultravioleta en la luz solar*

Como se sabe, para aplicar el método radiométrico utilizando filtros para la medición de las bandas de luz ultravioleta, hay que conocer antes la distribución espectral de la energía de un foco en unidades relativas. En la luz solar

las intensidades relativas del espectro están cambiando constantemente con las variaciones de las masas de aire, la presencia de las nubes, la existencia de humo en la atmósfera, etc. Esta, además, puede ser más o menos trasparente a distintas horas del día y en diferentes épocas del año, según sea la cantidad de ozono en ella existente. A lo que hay que añadir que en la intensidad de luz ultravioleta en el espectro solar influyen también las manchas del sol.

Resulta, pues, evidente que no existe una curva estandard de energía espectral para una altitud solar determinada o para una masa particular de aire. El problema, pues, consiste en averiguar un medio simple para determinar las intensidades relativas de las diferentes bandas del espectro, o, por lo menos, en la banda con longitudes de onda inferiores a 3300A aproximadamente, y, al mismo tiempo, los efectos biológicos que dichas ondas producen.

El filtro radiométrico y la termopila no son muy adecuados para este propósito, porque su capacidad de absorción lumínica no es definida (empieza en 5000A, aproximadamente) y se necesitaría conocer la distribución de energía espectral en toda la curva de luz ultravioleta de longitud de onda menor de 5000A. Como no conocemos bien esta curva espectral, cuanto más grande sea la dimensión del espectro que tenga que medirse por medio del filtro serán mayores los errores en la medición.

Para estas mediciones resulta más apropiado utilizar una célula fotoeléctrica de titanio o de cadmio que la termopila, pues la célula fotoeléctrica es sensible a una región más limitada del espectro (desde λ 3300A hasta el límite del espectro solar). Desde luego, que la sensibilidad de la célula fotoeléctrica al espectro solar debe ser constante y precisa. Según investigaciones que se están llevando a cabo, parece ser que la célula fotoeléctrica de titanio asociada a un sistema de filtros puede aplicarse no solamente a la medición de las ondas cortas de la luz ultravioleta del espectro solar con bastante precisión, sino también a la de las ondas de cualquier banda espectral con longitudes inferiores a λ 3130A, siempre que se la haya calibrado antes en grados de valor absoluto.

Al revés de lo que se creía antes, las células fotoeléctricas que se preparan hoy día fabricadas con titanio o cadmio, en

las que se ha practicado el vacío más perfecto posible, responden muy bien en la selección de las bandas espectrales, lo que no ocurre con las termopilas, cuya reacción ante las bandas del espectro no es selectiva. Esto constituye una ventaja mejor que un defecto, por lo menos cuando se trata de valorar las ondas cortas de luz ultravioleta de la radiación solar, ante la cual estas células fotoeléctricas son muy sensibles. Las células fotoeléctricas que antes se utilizaban había que llenarlas con gas, lo que resultaba muy trabajoso, y su reacción dependía del voltaje que se les aplicase y no de la intensidad lumínica.

El inconveniente mayor consiste en la graduación de la célula en unidades absolutas y su contraste con un foco estandar de radiación ultravioleta, lo que requiere hacer ciertos cálculos basados en la distribución de la energía espectral relativa que emana del foco estandar conocido de luz ultravioleta y la reacción espectral relativa de la célula fotoeléctrica. Estos datos son imprescindibles para poder determinar la escala graduada en el micrómetro auxiliar.

La determinación de la curva de energía de las ondas de corta longitud del espectro solar es muy fácil con el empleo de una célula fotoeléctrica y algunos filtros y puede llevarse a cabo en pocos minutos; en cambio, empleando el espectrorradiómetro las mediciones resultan complicadas y muy fastidiosas. Con ambos métodos hay que medir bandas espectrales de gran amplitud. Al observar la curva del espectro solar, en la zona comprendida entre 2900A y 3200A, debido a la pequeña dispersión utilizable, la curva tiene un trazo relativamente suave y sin indentaciones¹⁴; en cambio, cuando la dispersión es grande, las fotografías presentan la curva del espectro muy dentellada con las fajas de absorción solar de Fraunhofer y con las líneas de absorción del ozono de la atmósfera terrestre claramente visibles.

Para lo que nos proponemos, la evaluación de la curva de energía espectral a través de la transmisión de los filtros es probablemente tan exacta como si se hiciera espectrorradiométricamente. El gran poder selectivo de la célula fotoeléctrica en la zona comprendida entre las ondas de λ 2900A y λ 3000A (que es la que más nos interesa) hace que podamos medir con bastante facilidad sus más ligeras variaciones y calculemos con mayor precisión las medidas de radiación in-

tegral obtenida con la ayuda de los filtros, lo cual no se consigue con el espectrorradiómetro, en el que se producen siempre pérdidas de intensidad por la absorción en el sistema óptico empleado y en el reflector auxiliar.

El procedimiento de investigación que hoy día se está ensayando consiste en observar las variaciones de la calidad del espectro y la intensidad total de las ondas de luz ultravioleta comprendidas entre las longitudes $\lambda 2900\text{A}$ y $\lambda 3500\text{A}$ en la luz del sol. En el grabado 1 (texto inglés) pueden verse en una curva gráfica las observaciones practicadas diariamente, durante todo el año, utilizando células fotoeléctricas, y un juego de cuatro filtros de cristal (Corex D, Nillitis, Ba.-flint 1, y Ba.-flint 3).

En el grabado 2 (texto inglés) aparecen las observaciones llevadas a cabo en el Observatorio Lowell, Flagstaff, Arizona (situado a 7300 pies de altura), durante el verano de 1934.

Habría que calcular ahora el trazado de la curva de energía espectral más apropiado a la transmisión de los filtros. En el primer intento de cálculo se hizo uso de la curva de energía espectral de luz ultravioleta solar observada por Pettit¹⁴, en Tucson, Arizona (a 2500 pies de elevación), durante el mes de mayo de 1931. El promedio entre esta curva y la obtenida con las observaciones con la célula fotoeléctrica (grabado 1, texto inglés) es el que sirvió para obtener una curva de energía del espectro solar según las indicaciones de la célula fotoeléctrica especial que se empleó en verificar la medición (grabado 3, texto inglés).

La curva "Ti" No. 1 del grabado 3 (texto inglés) es el trazado gráfico del espectro de energía solar tal como podría observarse en la célula fotoeléctrica de titanio No. 1. El producto de cada longitud de onda de esta energía espectral por la correspondiente transmisión espectral del filtro (grabado 1, texto inglés) nos da la curva de energía espectral en los filtros Cx, Ni, Ba-1 y Ba-3, en el grabado 3, (texto inglés). La proporción entre las áreas expuestas bajo estas curvas y las áreas bajo la curva "Ti" No. 1 nos da el porcentaje de transmisión de cada filtro. Con la célula fotoeléctrica No. 4 de titanio se procedió de la misma manera.

Comparando las diferencias de transmisión entre los filtros que se investigaban (cuyos datos concordaban con los de am-

bas células fotoeléctricas) y los que tenían ya calculado su poder de transmisión, échase de ver que las intensidades que figuran consignadas en la curva de energía de Pettit, en la banda comprendida entre $\lambda 2950\text{A}$ y $\lambda 3050\text{A}$, eran algo elevadas, y que los valores ondulatorios $\lambda 3250\text{A}$ – $\lambda 3550\text{A}$ resultaban demasiado bajos. Por consiguiente, no podíamos aplicar a las observaciones del año 1934 en Flagstaff, Arizona (a 7300 pies de altitud), esas dos curvas de energía y hubimos de introducir en ellas algunos cambios. Después de uno o dos tanteos, pudimos calcular una tabla de transmisiones aplicable a las dos células fotoeléctricas y a los 4 filtros. Los cálculos de esta tabla coincidieron exactamente con los datos de la tabla de transmisiones observada en Flagstaff para una masa de aire ($m=1.35$) en los meses de agosto y septiembre y con las observaciones de Washington para otra masa de aire ($m=1.20$) en el mes de octubre y los primeros días de noviembre del año 1934.

Estos mismos cálculos de transmisión de los filtros corresponden con los datos observados en Flagstaff para una masa de aire $m=1.25$, antes del meridiano y para otra $m=1.40$ *post meridian* ciertos días del mes de junio, en que la transparencia atmosférica A. M. y P. M. era muy grande, y aún mucho mayor a la puesta del sol. (Este mismo fenómeno había ya sido observado por otros ^{16, 18}.)

Según progresaban las investigaciones, las condiciones climatéricas del Observatorio de Flagstaff durante la “estación pluvial” (que se extiende desde el 5 de junio al 15 de agosto, aproximadamente) resultaron muy interesantes. La presión del vapor de agua atmosférico ascendió desde cifras muy bajas, de menos de 2 cm. entre mayo y junio, a 6 u 8 mm. entre julio y agosto. Las primeras horas después del cenit eran a veces nubosas, aclarándose al atardecer y continuando claras durante toda la noche hasta el centro del día siguiente en que se repetía el mismo fenómeno rítmicamente.

Sin embargo, durante la estación seca, entre los meses de mayo y junio, de cielo claro hasta el límite del horizonte tanto de día como por la noche, las diferencias de la transparencia atmosférica para la misma altitud solar A. M. y P. M., deben depender de algún factor variable (el ozono) en la estratosfera. Ello se puede colegir por el tamaño de la corona solar, cuando es visible.

En el grabado 3 (texto inglés) aparece la curva (punteada) de energía del espectro solar tal como podría ser observada con un radiómetro no selectivo (una termopila) en una masa de aire $m=1.20$, en Washington. La escala de ordenadas es diferente de la de la energía computada con las observaciones hechas con células fotoeléctricas y con filtros. Haciendo uso de los coeficientes de transmisión atmosférica de Pettit¹⁴ y de esta curva de energía espectral pudieron calcularse otras curvas.

Multiplicando punto por punto cada una de las cifras que componen estas curvas de energía espectral por la curva de la reacción espectral de las células fotoeléctricas y por las que expresan la transmisión de los filtros, según indicamos antes (véase grabado 1, texto inglés), se obtuvieron las transmisiones integrales de los 4 filtros y de las 2 células fotoeléctricas, cuyos datos coinciden perfectamente con las transmisiones integrales de las masas de aire de $m=1.05$, 1.10, 1.25, 2.20 y 3.05 obtenidos en Flagstaff y las masas de aire correspondientes, pero más pequeñas, observadas en Washington.

En vista de que la transparencia atmosférica de una masa de aire determinada varía de la mañana a la tarde, según sea la estación del año y la emisión de luz ultravioleta irradiada por el sol, lo cual depende a su vez de las manchas solares, no se ha tratado de identificar los cálculos ya efectuados con las transmisiones observadas por masas de aire menores de $m=\pm 0.05$.

La forma del trazado de la curva de energía espectral ultravioleta ya calculada con las transmisiones observadas en los filtros para una masa de aire es suficiente para que podamos emplearla con garantías de exactitud en los cálculos. Para uso general basta con el empleo de uno o dos filtros que permitan una transmisión integral de 30 a 60 por ciento, aunque siempre es preferible utilizar un filtro que transmita un 80 por ciento. Así, por ejemplo, en una observación practicada en el mes de enero de 1935 en Washington, aunque el aire tenía una gran transparencia⁽⁴⁾, la transmisión del filtro Cx permaneció prácticamente constante durante todo el día,

(4) Para juzgar de la claridad del aire en el *National Bureau of Standards* nos guiamos por una neblina oscura que se cierne sobre el horizonte en dirección noreste, visible en los días más claros y aparentemente idéntica a la neblina que se cierne sobre la ciudad de Baltimore a unas 30 millas de distancia.

oscilando entre 85.5-85.8 por ciento al medio día (masa de aire, $m=2.1$) y 86.0-86.3 por ciento a las 10 A. M. y 3 P. M. (masa de aire, $m=2.9$ y 3.4 , respectivamente); lo que demostraba que la cantidad de radiación ultravioleta procedente de ondas de longitud inferior a 3020A, en latitud media, a nivel del mar y a la luz del sol, durante el invierno, es muy escasa.

De las mediciones practicadas con filtros y células fotoeléctricas de titanio, y de los datos que se conocen sobre la energía espectral, parece deducirse que en una altitud solar determinada, por ejemplo, de una masa de aire, $m=2.0$, al nivel del mar (en Washington), la distribución de la energía espectral relativa de la radiación solar, a través de una atmósfera limpia, es casi la misma que la observada a una altura mucho mayor y con menor altitud solar (Flagstaff, Arizona, a 7,300 pies).

Los datos sobre energía espectral obtenidos por Greider y Downs¹⁷ haciendo uso del espectrorradiómetro en dos puntos de altitudes muy diferentes (en Springfield Lake, Ohio, y Colorado Springs, Colorado) demuestran eso que decimos; pues aunque la intensidad total de radiación difiera evidentemente, y aún contando con los errores al verificar el experimento, no existen diferencias muy notables en la distribución de la energía espectral en esta banda limitada (desde 2900A a 3300A) por masas de aire equivalentes.

Las observaciones que anteceden eran de esperarse, pues la forma del trazado gráfico de esta parte de la curva de energía del espectro solar (entre las longitudes 2900A y 3200A) depende principalmente de la capa de ozono atmosférico, cuyo nivel central está situado a unos 25-50 km. de altura (de 15 a 30 millas). La cantidad de ozono existente en esta capa (en condiciones uniformes de temperatura y presión) es de unos 3 mm. por término medio⁽⁵⁾.

Al obtener Goetz las medidas de absorción de la capa inferior de la atmósfera, en puntos de diferente elevación (de unos 3800 pies, aproximadamente), calculó que la cantidad de ozono atmosférico es de 0.05 mm., lo que, según su opi-

(5) Dobson¹⁸ ha encontrado que en el continente europeo la cuantía de ozono atmosférico oscila conforme el ritmo de las estaciones del año, desde un máximo de 3.3 mm., en el mes de abril, a 2.3 mm. en octubre. Goetz ha anotado variaciones de 1.7 mm. a 4.2 mm. Regener¹⁹ demostró que el 70 por ciento de ozono existe por debajo de los 30 km. (18 millas).

nión, debe absorber una cantidad de luz notable, a pesar de la absorción producida por la cantidad total de ozono que existe en la atmósfera. Sin embargo, aunque la absorción en la onda $\lambda 2900\text{A}$ es mayor que en la $\lambda 3200\text{A}$, en los parajes menos elevados podría quedar compensado el fenómeno por la dispersión de Rayleigh ($1/\lambda^4$) y entonces sucedería que las condiciones siempre cambiantes de la atmósfera podrían pasar desapercibidas, a menos que las mediciones se efectúen con rapidez, utilizando un dispositivo con el que puedan integrarse las observaciones, como sería, p.ej., utilizando una célula fotoeléctrica de titanio o de cadmio en combinación con filtros de transmisión.

Al pasar del observatorio de Flagstaff (a 7,300 pies de elevación) al de San Francisco Peaks, que está en sus cercanías (a 10,500 pies de elevación), la transmisión integral del filtro descendió notablemente, lo que indicaba un aumento apreciable de las longitudes de ondas cortas de luz ultravioleta. Este hecho, no obstante, puede explicarse por el acortamiento del camino que tenía que recorrer la luz solar a través de la capa de ozono y, por consiguiente, a la mayor transparencia para la radiación ultravioleta.

Antes de terminar queremos dejar sentado que la dificultad y falta de fijeza de los datos que se obtienen para determinar la curva de energía de la radiación ultravioleta del espectro solar con auxilio del filtro y de la termopila, hace que la medición de la radiación ultravioleta solar esté sujeta a muchos errores, lo cual no sucede en la evaluación de la luz ultravioleta irradiada por focos artificiales¹².

RESUMEN

En las páginas que anteceden está expuesto el método más conveniente para obviar esas dificultades, basándonos en datos experimentales de observación propia que habremos de hacer objeto de una comunicación más extensa sobre la materia.

Para poder obtener mediciones en unidades absolutas ha habido que calibrar la célula fotoeléctrica y el electrómetro auxiliar (micrómetro y amplificador¹³), contrastándolos con una lámpara de arco de mercurio y cuarzo de 110 voltios, de radiación standard, obtenida con un filtro y una termopila¹². Siempre que la energía espectral fotoeléctrica per-

manezca invariable, la evaluación de la radiación ultravioleta de ondas de longitud inferior a $\lambda 3130\text{A}$, e incluso esta última, resulta tan práctica como pueda serlo con la termopila y el filtro.

Sólo nos resta añadir que las diferencias de trasmisión que pueden apreciarse en los filtros que hemos descrito antes se observaron con facilidad en las células Ti No. 4 y Ti No. 2, cuyas diferencias de sensibilidad son muy leves, como puede verse en el grabado 1 (texto inglés). En las células que utilizamos al verificar la presente investigación no se notaron diferencias tan marcadas en las curvas de reacción como las anotadas en las células No. 4 y 2, expuestas en el grabado 1. Creemos asimismo que las variaciones observadas en los filtros referentes a la trasmisión de la radiación solar ultravioleta durante los cambios de las estaciones del año, se debe a las fluctuaciones de la transparencia atmosférica y no a alteraciones de la curva de reacción espectral acusadas por las células fotoeléctricas.

NOTA ADICIONAL RESPECTO A LA INTENSIDAD DE LA RADIACIÓN
DE LUZ SOLAR ULTRAVIOLETA EN EL TRÓPICO *

Cuando leímos estas notas en una conferencia pronunciada el 7 de febrero de 1935 en la Escuela de Medicina Tropical de Puerto Rico no sabíamos de qué podrían depender las diferentes intensidades de la radiación ultravioleta entre los países tropicales y las regiones situadas en latitudes más altas. Las observaciones y estudios que después hemos practicado nos han revelado ciertos datos que tienen alguna relación con este tema y que creemos oportuno discutir aquí.

Hemos asegurado que la cantidad de radiación solar ultravioleta que alcanza la superficie del planeta depende del ozono existente en la estratosfera y que esta cuantía es menor en la zona tropical que en los países situados fuera de ella. Por consiguiente, la intensidad de luz ultravioleta en el trópico debía ser algo mayor que en las zonas de altura media, aunque fuera en los momentos en que estuviesen a la misma distancia del sol.

* El radiómetro Westinghouse que hemos instalado en la Escuela de Medicina Tropical consta de cuatro células fotoeléctricas (tres de titanio y una de torio) conectadas con condensadores apropiados, previamente calibrados para acusar las variaciones de radiación de luz ultravioleta solar con longitudes de onda inferiores a 3130A , calculadas en ergios por cm^2 . El aparato en cuestión es el más apropiado para los estudios biológicos, fisiológicos y climatológicos que se han emprendido en Puerto Rico.

Las mediciones que después verificamos confirmaron estas afirmaciones. Pudimos comprobar que, dada la misma altura solar (masa de aire atravesada por los rayos solares), la intensidad de luz solar ultravioleta en San Juan, Puerto Rico, era algo mayor que en Washington, situado al mismo nivel del mar y con el aire libre de impurezas.

Sin embargo, estas diferencias de intensidad, aunque la distancia del sol fuera la misma, no parece bastante grande para que pueda originar efectos biológicos muy notables. Si se aprecian diferencias de efectos biológicos atribuibles exclusivamente a variación de la intensidad lumínica, ello se debe probablemente a que durante todo el año el sol brilla en el medio del día en los trópicos, atravesando una capa de aire menor que en los países situados a mayor altitud.

Por ejemplo, en Washington solamente durante dos meses del año (del 15 de mayo al 15 de julio) luce el sol a través de una masa de aire de $m=1.04$ a $m=1.05$ (nunca menor de $m=1.04$); en cambio, en San Juan por espacio de seis meses casi completos el sol brilla siempre en el centro del día, atravesando una masa aérea de sólo $m=1.05$, o quizás menor. En dos ocasiones durante el año, hacia el espacio comprendido entre el 12 de mayo y el 1° de agosto, el sol llega a su cenit atravesando una masa de $m=1.00$; en el intervalo de los cuatro meses que van del 20 de abril al 20 de agosto la masa de aire que el sol tiene que atravesar a la hora del cenit es de $m=1.00$ a $m=1.01$. Por consiguiente, hay un período de cuatro meses en que las ondas de longitud más corta (de 2900Å a 3000Å), las que producen mayores efectos biológicos, son de mayor intensidad, alcanzando ésta, por término medio, en toda la banda espectral, de 2900Å-3130Å, que es precisamente la zona ondulatoria que posee mayor potencia biológica específica, por lo que actúa con mayor vigor terapéutico sobre el raquitismo. La radiación ultravioleta, pues, en San Juan, Puerto Rico, es 20 por ciento mayor que la de mayor intensidad alcanzada en Washington. Este fenómeno sólo puede darse en el trópico a nivel del mar.

Pero aún hay más todavía. Durante los 5 meses de invierno en que la radiación ultravioleta de ondas cortas existentes en la luz solar es más necesaria para la prevención del raquitismo en los países situados a una altura media,

resulta que estas ondas son casi completamente absorbidas y la intensidad de las ondas de menor poder biológico queda reducida a menos de la sexta parte del valor que tienen en los países tropicales. Estos, a más de gozar de una mayor intensidad de radiación ultravioleta, disfrutan también de mayor número de horas soleadas durante los cinco meses invernales. En Londres y Estokolmo, p.ej., solamente luce el sol unas trescientas horas en todo el invierno; en Berlín y en París, de 300 a 350; en Nueva York y Colón, 800; en cambio, en San Juan de Puerto Rico el sol brilla durante 1,100 horas. Para deducir datos exactos sobre la influencia de la luz solar en la fisiología humana habría que considerar además algunos factores (influencia de la temperatura, movimientos de la masa de aire, humedad atmosférica, indumento habitual de los habitantes, etc.), que indudablemente ejercen su acción beneficiosa en el raquitismo, enfermedad que no se conoce en los trópicos.

R. L. trad.