

ESTUDIOS CLÍNICOS Y DE LABORATORIO

Algunas evidencias clínicas sobre la necesidad del calibrado de simuladores solares usados en dermatología

Resumen.—Los simuladores solares emiten una radiación espectral que reproduce con bastante fidelidad el espectro de la radiación solar. Se emplean en dermatología, fundamentalmente en la realización del fototest para la determinación de dosis eritemáticas (MED). Su espectro de emisión puede variar con el tiempo en función del envejecimiento de las fuentes o por desajustes mecánicos u ópticos del sistema, lo que hace obligada una calibración periódica de los mismos. Esta calibración se realiza por medio de espectrorradiómetros de precisión, lo que permite comparar la respuesta espectral en mediciones sucesivas que deberían realizarse en función del tiempo de uso, al menos cada 6 meses. En este trabajo hemos estudiado la respuesta espectral de un simulador Solar Light 12S empleado en el Servicio de Dermatología del Hospital General Universitario de Valencia, encontrándose en el mismo considerables variaciones con el tiempo debido fundamentalmente a desajustes de alineación óptica.

Estos desajustes recomiendan sustituir las unidades de tiempo habitualmente aplicadas en los fototests por unidades de energía para la obtención de valores de referencia para los diferentes tipos de piel.

Palabras clave: Simuladores solares. Fototest. Dermatología. MED. Fototipos.

INTRODUCCIÓN

Los simuladores solares son instrumentos que reproducen mediante fuentes artificiales (generalmente lámparas de arco de xenón) el espectro de la radiación solar a nivel del suelo, permitiendo trabajar en condiciones de laboratorio controladas, eliminando la dependencia respecto a la fuente natural, que está sometida a numerosas variaciones de tipo astronómico (hora y día del año) y atmosférico (nubosidad, turbiedad, etc.) (1). En dermatología los simuladores solares se emplean para establecer la sensibilidad de los pacientes frente a la radiación solar, especialmente en el rango UV (2), aunque también han mostrado su utilidad en el rango visible (3). Asimismo resultan imprescindibles para determinar *in vitro* factores de protección solar (FPS), que en la actualidad

JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ LOZANO*
MARÍA PILAR UTRILLAS ESTEBAN*
ROBERTO PEDRÓS ESTEBAN*
FERNANDO TENA SANGÜESA*
JESÚS DE LA CUADRA OYANGUREN**
AMPARO PÉREZ FERRIOLS**
ADOLFO ALIAGA BONICHE**
*Grupo de Radiación Solar,
Universitat de Valencia, Burjassot (Valencia).
**Servicio de Dermatología,
Hospital General Universitario, Valencia.

Correspondencia

JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ LOZANO. Departamento de Termodinámica. Facultad de Física. Dr. Moliner, 50. 46100 Burjassot (Valencia). Correo electrónico: jmartino@uv.es

Aceptado el 5 de julio de 2001.

constituyen el mecanismo más útil para establecer la eficacia protectora de los filtros solares (4, 5).

Su aplicación clínica fundamental es la realización del fototest, método que permite la determinación de la MED (dosis eritemática mínima). Mediante el fototest es posible, en la mayoría de los casos, objetivar la respuesta de un individuo a la radiación solar según el fototipo de piel. De hecho, el fototest constituye uno de los principales métodos clínicos para el estudio de pacientes que acuden a la consulta de dermatología afectados de fotosensibilidad. Nos permite establecer si el paciente es realmente fotosensible y en muchas ocasiones la longitud de onda responsable de dicha fotosensibilidad. El fototest es un pilar fundamental en la exploración de la urticaria solar, la erupción lumínica polimorfa, el reticuloide actínico y la fotosensibilidad sistémica entre otros (6).

Todos los simuladores solares emiten una radiación espectral que varía según el tipo de fuente que incorporan, y una fuente dada puede variar su intensidad de emisión espectral con el transcurso del tiempo en función de las horas de uso de la misma. Esto obliga a realizar calibraciones periódicas de estos simuladores solares con el fin de cuantificar la efectividad biológica de una fuente determinada en un momento dado. Desde una perspectiva clínica esta calibración es necesaria, entre otras razones, para disponer de un seguimiento coherente de los pacientes tratados con estos instrumentos y para establecer estudios epidemiológicos rigurosos en poblaciones de riesgo.

Las causas que pueden provocar una variación en la respuesta de los simuladores solares son varias, pero básicamente se pueden englobar en dos grupos: a) variaciones en el espectro de emisión de la lámpara debidas fundamentalmente al envejecimiento con el tiempo de uso, y b) desajustes de las partes mecánicas y ópticas que pueden dar lugar a una desalineación de los rayos emitidos por la lámpara, con la consiguiente variación de intensidad, aun manteniendo constante la respuesta espectral. Debido a este segundo grupo de factores es necesario calibrar el simulador en su conjunto, careciendo de interés práctico la comprobación por sí sola de la respuesta espectral de la lámpara. Además, dada la dependencia espectral de la respuesta de la piel humana frente a la radiación UVB, establecida a través del espectro de acción eritemática (7), esta calibración debe hacerse mediante espectrorradiómetros con el rango espectral adecuado, y a ser posible en las condiciones habituales de uso del simulador.

El Servicio de Dermatología del Hospital General Universitario de Valencia posee dos simuladores solares, modelos 12S y 16S (8), ambos fabricados y suministrados por Solar Light. En los últimos años dicho Servicio ha entrado en contacto en varias ocasiones con el Grupo de Radiación Solar de la misma Universidad (Facultad de Física) con el fin de realizar periódicamente medidas experimentales que sirviesen para establecer las curvas espectrales de la radiación emitida por estos simuladores. En este trabajo se describe el procedimiento seguido en estos calibrados y algunos de los resultados más relevantes obtenidos en los mismos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Simulador Solar Light modelos 12S y 16S

Estos instrumentos constan básicamente de una lámpara de arco de xenón de 150 W, una fuente de alimentación estabilizada para ésta y un sistema óptico focalizador (8). En la figura 1 se ha representado el esquema de dicho sistema óptico. La fuente de ilu-

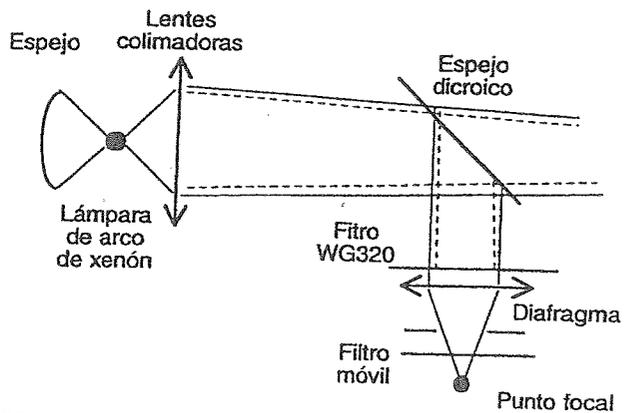


FIG. 1.—Esquema óptico de los simuladores solares Solar Light 12S y 16S.

minación la constituyen en realidad la lámpara y un espejo reflectante situado perpendicularmente a la dirección de focalización. Su misión es aumentar la intensidad de la luz, que incide en la ventana, aunque, como veremos más adelante, su presencia es una de las principales causas de la imprecisión del sistema. La luz primaria (procedente de la lámpara) y la secundaria (procedente del espejo) se coliman mediante un sistema de lentes en una ventana provista de un diafragma. Previamente el haz es reflejado por un espejo dicróico dispuesto en un ángulo de 45°, cuya finalidad es reducir en gran parte la radiación visible e IR para eliminar las molestias térmicas.

El sistema está provisto de dos filtros internos. Uno de ellos (filtro WG320) elimina la radiación emitida por la lámpara de longitud de onda inferior a los 295 nm (toda la UVC y la UVB más nociva), cumpliendo así una misión similar a la de la atmósfera terrestre respecto a la radiación solar. El otro (filtro Corning azul, UG11) elimina la radiación correspondiente a las longitudes de onda superiores a los 400 nm (visible e infrarroja). Además el instrumento incorpora un filtro externo móvil que permite eliminar a voluntad la radiación UVB (por debajo de 320 nm), permitiendo únicamente el paso de la radiación UVA (entre 320 y 400 nm). Los modelos 12S y 16S varían ligeramente en su aspecto exterior, pero la lámpara y los componentes ópticos son exactamente iguales en ambos.

Debido a que el foco (lámpara + espejo) no es puntual y a que el sistema de lentes empleado es en su conjunto convergente, el sistema es focalizado, encontrándose la imagen del foco a una distancia fija de la ventana de apertura (distancia de focalización). La determinación de esta distancia puede llevarse a cabo de forma teórica a partir de las características de las lentes o de forma experimental a partir de las medidas de intensidad realizadas con un radiómetro a diferentes distancias de la ventana. Para el modelo 12S el fabricante proporciona una distancia de focalización de 5,6 cm, aunque, como veremos más adelante, las medi-

das de laboratorio llevadas a cabo por el Grupo de Radiación Solar arrojaron un valor próximo a los 10 cm.

El hecho de que el sistema sea focalizado complica notablemente la determinación de los valores de la irradiancia incidente a distintas distancias de la ventana, ya que en este caso al efecto de atenuación con la distancia respecto al foco emisor se superpone el efecto focalizador, que provoca que la intensidad sea mayor en las proximidades del plano de la imagen del foco. Por otra parte, si la focalización del sistema no es correcta la intensidad puede disminuir de forma considerable. En el caso del sistema que nos ocupa la imagen del foco se puede aproximar a un círculo de 1 cm de diámetro, valor que coincide con el proporcionado por el fabricante. Obviamente ésta será la superficie máxima a irradiar con este instrumento a la distancia de focalización en el caso de no cerrar el diafragma.

Espectrorradiómetros Licor Li-1800 y Optronics OL754

El proceso de calibrado de estos simuladores se ha llevado a cabo con dos espectrorradiómetros de prestaciones diferentes. El Licor Li-1800 está provisto de un simple monocromador que permite obtener medidas en el rango 300-1100 nm. Posee una semianchura de banda de aproximadamente 6 nm y un paso de banda de 1 nm. La precisión en la medida depende de la región espectral considerada (9, 10), correspondiendo el máximo error (alrededor de 20%) a la región UVB del espectro debido básicamente a las dificultades de calibración del instrumento en este rango espectral. Por su parte, el Optronics OL754 está provisto de un doble monocromador, y su rango espectral se extiende de 250 a 800 nm, con una semianchura de banda de 1,6 nm, permitiendo realizar medidas con un paso de banda de 0,05 nm. La precisión de este instrumento en el rango UVB es del orden del 5% (11).

Metodología seguida en la calibración

Para establecer un protocolo de calibrado en este tipo de simuladores disponemos de dos alternativas: a) obtener la respuesta espectral de la radiación emitida a una distancia predeterminada y compararla con valores obtenidos para dicha distancia en calibrados previos, y b) expresar la respuesta obtenida en términos de tiempo necesario para conseguir una determinada dosis de irradiación (por ejemplo, una MED para un determinado fototipo). Hemos optado por esta segunda opción, ya que es independiente de calibraciones anteriores y de aplicación inmediata en usos clínicos.

A su vez para variar la intensidad sobre una superficie irradiada (y por tanto la dosis si consideramos

tiempos de exposición) se pueden seguir tres métodos diferentes:

- Mantener constantes la apertura del diafragma y la distancia de exposición, variando el tiempo de exposición.
- Mantener constantes la apertura del diafragma y el tiempo de exposición, variando la distancia de exposición.
- Mantener constantes la distancia y el tiempo de exposición, variando la apertura del diafragma.

Consideramos que tanto para facilitar el manejo en clínica como para simplificar el cálculo de dosis la opción más recomendable es la primera, siendo conveniente no modificar nunca la apertura del diafragma (que deberá ser la máxima) ni la longitud del brazo (que deberá corresponder a la distancia de focalización del sistema).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respuesta espectral del simulador Solar Light 12S

La caracterización espectral de este instrumento se ha realizado en dos ocasiones, en junio de 1997 y en noviembre 1999. Los resultados que presentamos a continuación corresponden a esta última. En ella se realizaron dos series de medidas, la primera sin llevar a cabo ningún ajuste previo del simulador, dando por supuesto que éste funcionaba correctamente. A la vista de los resultados obtenidos se decidió realizar la segunda serie de medidas tras desmontar completamente el sistema óptico y volverlo a montar secuencialmente, procurando cuidar al máximo en cada paso el alineamiento de los rayos. Para ello se anuló inicialmente el espejo y una vez focalizada la lámpara se focalizó sobre la imagen de ésta la imagen del espejo.

Las medidas se llevaron a cabo utilizando el espectrorradiómetro Licor 1800. En cada serie se midió la intensidad para distintas distancias del brazo extensible (equivalentes a centímetros) con el fin de determinar la distancia de focalización, con y sin el filtro móvil externo de UVB. En las figuras 2 y 3 y se han representado algunas de las curvas espectrales obtenidas en la primera serie de medidas (antes de ajustar el sistema óptico). Se observa que conforme aumenta la distancia a la ventana (posición del brazo) aumenta la intensidad, hasta que comienza a disminuir a partir de la posición 6. Como ya hemos indicado anteriormente en este caso el alineamiento del sistema óptico no era correcto, hecho se podía poner de manifiesto a simple vista porque la imagen del espejo era más intensa que la de la propia lámpara cuando evidentemente debería ser al contrario. Esto se traduce en una pérdida de intensidad en el punto

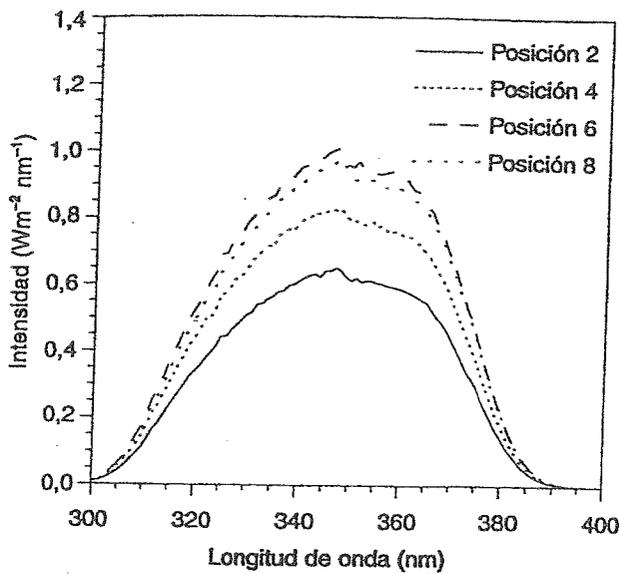


FIG. 2.—Variación de la respuesta espectral del simulador Solar Light 12S para distintas posiciones del brazo antes del ajuste óptico. Medidas con filtro UVB.

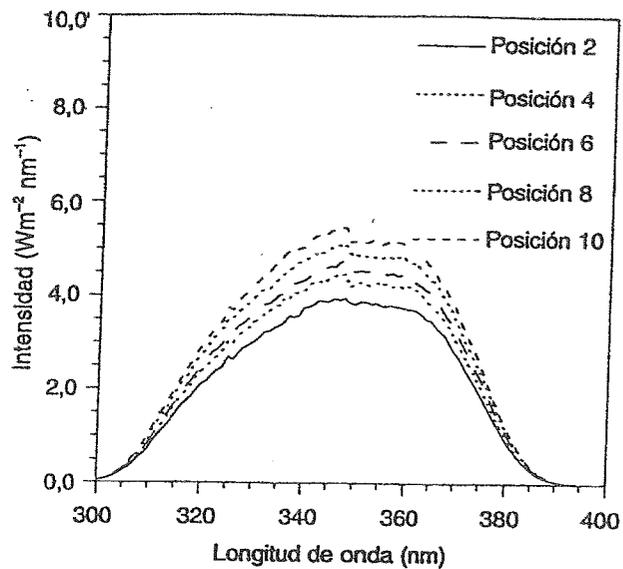


FIG. 4.—Variación de la respuesta espectral del simulador Solar Light 12S para distintas posiciones del brazo después del ajuste óptico. Medidas con filtro UVB.

de focalización, lo que conlleva un aumento en el tiempo de exposición en las aplicaciones clínicas.

A su vez en las figuras 4 y 5 se han representado las curvas correspondientes a la segunda serie de medidas una vez ajustado el sistema óptico. En esta ocasión el máximo se obtiene en ambos casos cuando se coloca el brazo en la posición 10. Al margen de esta variación en la distancia de focalización, que se explica en base a un correcto alineamiento de los rayos, lo más importante desde el punto de vista clínico es que la intensidad máxima es unas 10 veces superior a la que se tenía antes de ajustar la óptica del instrumento. Con

el fin de visualizar mejor las diferencias entre estos resultados, y a modo de ejemplo, en las figuras 6 y 7 se han superpuesto las curvas espectrales para una misma distancia (la correspondiente a la posición 2 del brazo) en las dos series de medidas, con y sin filtro UVB, respectivamente.

Como ya hemos indicado, la respuesta espectral del Licor Li-1800 alcanza sólo hasta los 300 nm, siendo el error en las proximidades de dicha longitud de onda del orden del 20%. Dado que la determinación de dosis eritemáticas es crítica alrededor de dicha longitud de onda, se realizó una nueva serie de medidas,

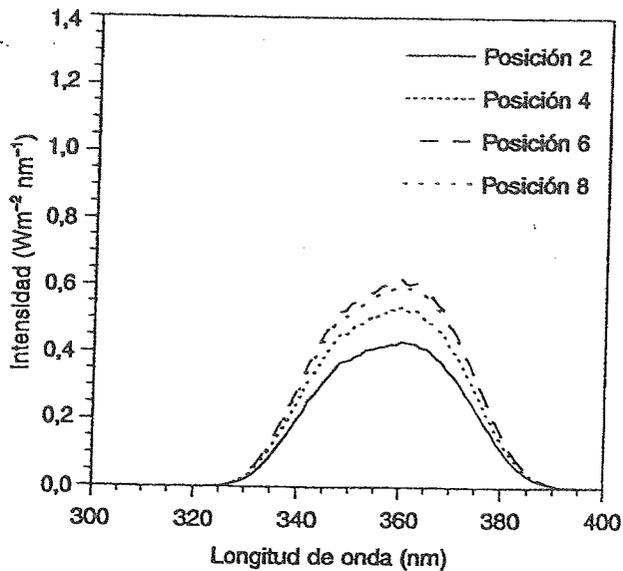


FIG. 3.—Variación de la respuesta espectral del simulador Solar Light 12S para distintas posiciones del brazo antes del ajuste óptico. Medidas sin filtro UVB.

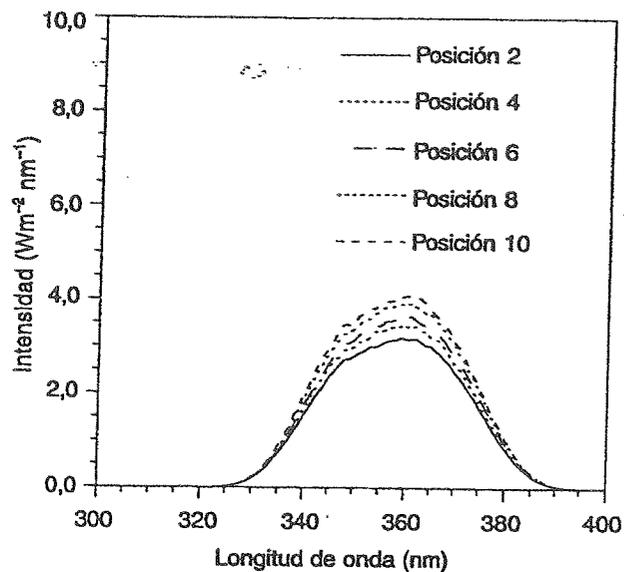


FIG. 5.—Variación de la respuesta espectral del simulador Solar Light 12S para distintas posiciones del brazo después del ajuste óptico. Medidas sin filtro UVB.

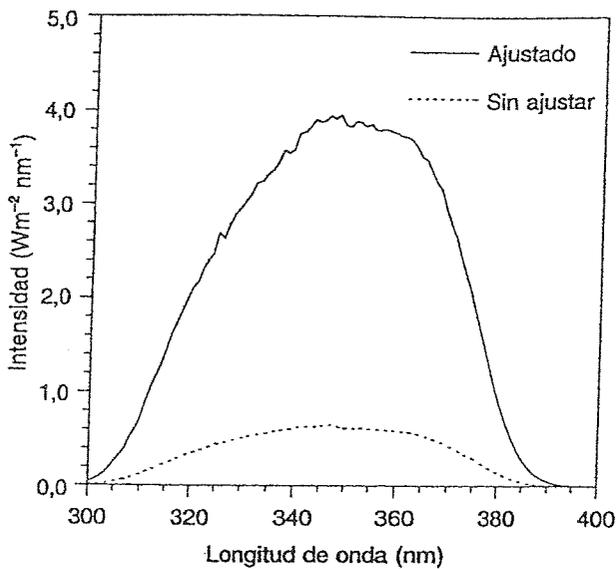


FIG. 6.—Comparación de la respuesta espectral del simulador Solar Light 12S antes y después del ajuste óptico. Posición 2 del brazo. Medidas sin filtro UVB.

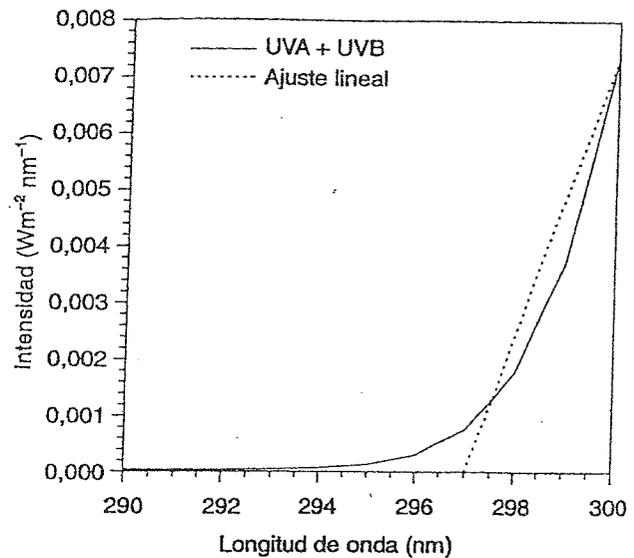


FIG. 8.—Respuesta espectral del simulador Solar Light 12S en el rango 290-300 nm medida con el espectrorradiómetro Optronico OL754 después del ajuste óptico.

una vez ajustado el simulador, utilizando un espectrorradiómetro Optronico OL754 de gran precisión en el rango UVB. Debido a la diferente óptica que presentan en la entrada ambos espectrorradiómetros (difusor de Teflón en el Licor, esfera integradora en el Optronico) los resultados obtenidos con ellos no son comparables en intensidad cuando se utilizan para medir la radiación procedente de una fuente puntual no colimada. Sin embargo, sí lo son en cuanto a la forma de la curva espectral determinada, hecho que se ha utilizado para corregir los valores obtenidos mediante el Licor.

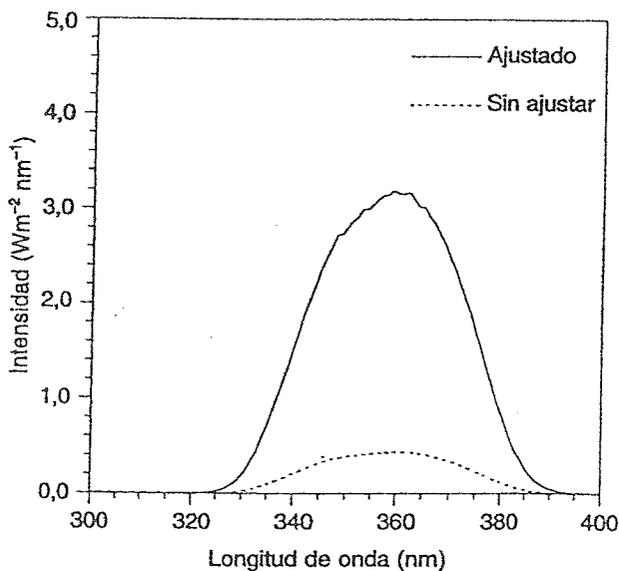


FIG. 7.—Comparación de la respuesta espectral del simulador Solar Light 12S antes y después del ajuste óptico. Posición 2 del brazo. Medidas con filtro UVB.

En este sentido en la figura 8 se ha representado la curva espectral por debajo de los 300 nm, obtenida con el Optronico. El área encerrada por esta curva representa sólo un 0,18% del área encerrada por la curva entre 300 y 320 nm. No obstante, dado el extraordinario peso que tienen estas longitudes de onda en la determinación de la irradiancia eritemática, se ha utilizado este valor como base para corregir las medidas obtenidas por el Licor 1800. Para ello hemos utilizado la aproximación consistente en considerar que el área encerrada por la curva espectral proporcionada por el Optronico es equivalente al área encerrada por una línea recta trazada desde el punto en que la curva espectral corta al eje de ordenadas hasta el punto del eje de abscisas de valor 297 nm, tal y como se muestra en la figura 8. A efectos de cálculo de dosis eritemáticas, todas las medidas obtenidas con el Licor se han extendido hasta los 297 nm, suponiendo que desde los 300 nm hasta los 297 nm la respuesta espectral es lineal.

Cálculo de la irradiancia eritemática y el tiempo de exposición

Para obtener valores de irradiancia eritemática se convolucionan los valores espectrales de la irradiancia espectral emitida por el simulador determinados mediante el espectrorradiómetro Licor (y corregidos según el procedimiento descrito en el apartado anterior) con los valores de la curva del espectro de acción eritemática propuesto por la CIE (7). En la figura 9 se han representado, a modo de ejemplo, las curvas espectrales de esta irradiancia eritemática correspondientes a las posiciones 2 y 10 del brazo del simu-

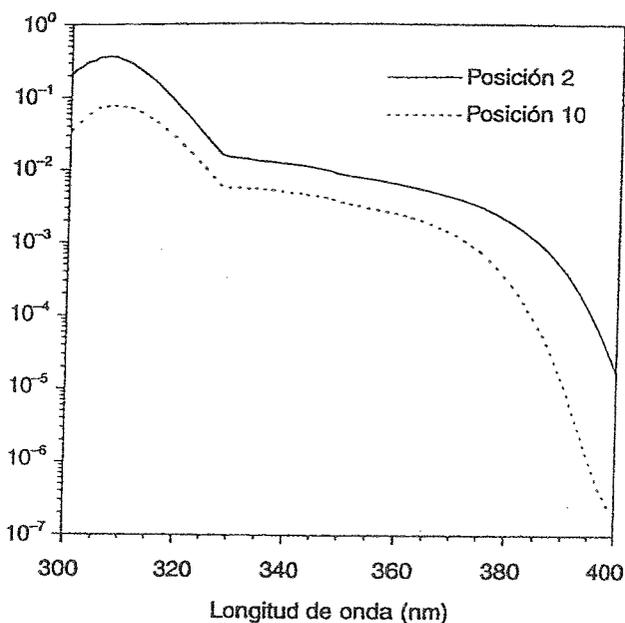


FIG. 9.—Irradiancia espectral eritemática para las posiciones 2 y 10 del brazo del simulador Solar Light 12S después del ajuste óptico. Medidas corregidas para cortas longitudes de onda.

lador (distancias para las que se han obtenido los valores mínimo y máximo de intensidad) una vez corregido el alineamiento óptico del sistema.

Para determinar los valores de las MED correspondientes a la radiación UV (UVA + UVB) y UVA se han integrado las curvas de irradiancia eritemática (del tipo de las representadas en la figura 9) entre 290 y 400 nm y entre 320 y 400 nm, respectivamente. A partir de los valores obtenidos en estas integraciones (dados en W/m²) se han determinado los tiempos necesarios para provocar una MED. Estos tiempos se han determinado en base a las recomendaciones de la COST 713 (12) en cuanto a la clasificación de fototipos (tabla I). Adicionalmente a los valores incluidos en dicha tabla hemos considerado también el valor de 300 J/m² (30 mJ/cm²), que representaría un valor medio entre los correspondientes a los fototipos II y III, criterio que se aplica en otras localidades del entorno mediterráneo.

Para este valor de 300 J/m² (fototipo II/III) se han obtenido los siguientes tiempos de exposición:

TABLA I: VALORES DE LA DOSIS ERITEMÁTICA MÍNIMA (MED) PARA LOS TIPOS DE PIEL HUMANA DEFINIDOS POR LA COST 713

Fototipo	MED
Tipo I	200 J/m ² (20 mJ/cm ²)
Tipo II	250 J/m ² (25 mJ/cm ²)
Tipo III	350 J/m ² (35 mJ/cm ²)
Tipo IV	450 J/m ² (45 mJ/cm ²)

— Simulador no alineado correctamente. Distancia de focalización:

UVB + UVA T (MED) = 19 minutos.

UVA T (MED) = 384 minutos.

— Simulador alineado correctamente. Distancia de focalización:

UVB + UVA T (MED) = 3,0 minutos.

UVA T (MED) = 63 minutos.

En la tabla II se presentan los tiempos de exposición necesarios para producir una MED, en función del fototipo, con la óptica del simulador alineada correctamente.

Como hemos indicado anteriormente, durante el año 1997 se realizó un primer calibrado de este simulador solar, sin entrar en consideraciones acerca de las condiciones de su sistema óptico. El resultado obtenido en dicha calibración, realizada para la distancia de brazo de uso habitual (posición 8), una vez corregidos para cortas longitudes de onda, fue el siguiente:

UVB + UVA T (MED) = 5,3 minutos.

Este resultado es difícilmente comparable con los anteriores dado que no se estableció en su día la condición en que se encontraba el sistema óptico. Está más próximo al resultado obtenido en el año 1999 para el simulador ajustado ópticamente (3 minutos) que sin ajustar (19 minutos). Probablemente sea el resultado de la combinación de dos circunstancias. Por una parte, una cierta desalineación del sistema óptico, no tan acusada como la detectada en el año 1999, y por otra, una mayor intensidad de la lámpara debido a su menor envejecimiento por consumo.

Aplicación al fototest

Se han determinado las dosis (en mJ/cm²) correspondientes a los tiempos del fototest utilizado actualmente en el Servicio de Dermatología del Hospital General Universitario de Valencia (13) en las tres series estudiadas. En la tabla III se muestran los valores correspondientes al simulador Solar Light 12S alineado correctamente y corregido en intensidad para bajas longitudes de onda.

TABLA II: TIEMPO DE EXPOSICIÓN NECESARIO PARA PRODUCIR UNA MED EN LOS DISTINTOS FOTOTIPOS PROPUESTOS POR LA COST 713

MED	Tipo I (20 mJ/ cm ²)	Tipo II (25 mJ/ cm ²)	Tipo III (35 mJ/ cm ²)	Tipo IV (45 mJ/ cm ²)	Tipo II/III (30 mJ/ cm ²)
UVA + UVB	121,0 s	151,2 s	211,7 s	272,2 s	181,4 s
UVA	42,2 m	52,7 m	73,8 m	94,9 m	63,3 m

TABLA III: TIEMPOS Y DOSIS DEL FOTOTEST DE UVB + UVA EMPLEADO EN EL SERVICIO DE DERMATOLOGÍA DEL HOSPITAL GENERAL DE VALENCIA A LA DISTANCIA DE FOCALIZACIÓN

Tiempo (s)	7	10	15	20	30	42	60	84	120	168	240	336
Dosis (mJ/cm ²)	1,2	1,7	2,5	3,3	5,0	6,9	7,6	11,0	15,3	22,7	32,4	45,4

CONCLUSIONES

Los resultados expuestos anteriormente nos permiten extraer algunas conclusiones de carácter general, extrapolables a cualquier simulador solar de características similares al analizado en este trabajo. Entre ellas destacaríamos las siguientes:

- Es absolutamente imprescindible realizar medidas periódicas de la radiación espectral emitida por la lámpara del simulador, ya que su intensidad disminuye con las horas de uso. En este sentido sería conveniente llevar un control riguroso de las horas de utilización de la lámpara. Dado que la vida media de una lámpara de arco de xenón de este tipo se estima en aproximadamente 1.000 horas, este calibrado debería hacerse a lo sumo cada 100 horas. Caso de no disponer del dato relativo a las horas de uso, sería conveniente calibrar la lámpara al menos cada 6 meses.
- Nuestra experiencia muestra que la mayor causa de error en la determinación de dosis de irradiancia la constituye el posible desajuste del sistema óptico que incluye el simulador. Esto obliga a revisar periódicamente el alineamiento de dicho sistema, al menos en lo referente a la distancia de focalización de la imagen del sistema de iluminación (lámpara + espejo).
- Si se utiliza el simulador para la determinación de fototests basados en tiempo de exposición y no hay posibilidad de llevar a cabo las comprobaciones citadas en los dos puntos anteriores deberá hacerse uso de un criterio crítico, basado en el sentido común, respecto a estos tiempos de exposición, modificándolos periódicamente si es necesario.
- Esto nos conduce a la cuestión clave en el uso de estos simuladores, y que consiste en la conveniencia de utilizar el fototest en base a unidades de energía y no de tiempo, ya que los tiempos no son indicadores físicos reales de la dosis de irradiancia empleada.
- Todo lo anterior nos lleva a plantear la conveniencia de establecer un fototest estándar, basado en unidades de energía, que permita disponer de valores de referencia para los diferentes fototipos de piel.

Abstract.—Solar simulators emit a spectral radiation that reproduce very accurately the solar spectrum.

They are employed in dermatology mainly to perform the phototests in order to determine erythema doses (MED). The emission spectrum of such simulators may change with time as a consequence of the ageing of the sources or owing to the system getting out of mechanical or optical alignment. So it is necessary a periodic calibration of the instrument. Such calibration must be performed by means of precision spectroradiometers allowing the comparison of the spectral response through successive measurements within six months intervals at most. In this work the spectral response of a Solar Light 12S simulator that is employed in the Dermatology Service of the General Hospital of Valencia has been studied. Important variations with time have been found, own mainly to variations in the optical alignment.

The time units usually employed in the phototests should be replaced by energy units in order to get the reference values for the different skin types.

Martínez Lozano JA, Utrillas Esteban MP, Pedrós Esteban R, Tena Sangüesa F, De la Cuadra Oyanguren J, Pérez Ferriols A, Aliaga Boniche A. Some clinical evidences on the need for calibration of solar simulators employed in dermatology. Actas Dermosifiliogr 2001;92:444-451.

Key words: Solar simulators. Phototest. Dermatology. MED. Phototypes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Sayre RM, Cole C, Billhimer W, Stanfield J, Ley RD. Spectral comparison of solar simulators and sunlight. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 1990;7:159-65.
2. Diffey B. The spectral emissions from ultraviolet lamps used in dermatology. *Photodermatol* 1986;3:179-85.
3. Wulf HC, Brodthagen H. Solar simulators: modifications for testing with visible light. *Acta Dermatovener* 1982;63:240-2.
4. Kaidbey KH. Comparison of sun protection factors obtained with a xenon solar simulators and a Ultravitalux lamp. *Photodermatol* 1987;4:154-9.
5. Sayre RM, Poh-Agin P. Comparison of human sun protection factors to predicted protection factors using different lamp spectra. *J Soc Cosmet Chem* 1984;35:439-45.
6. Magnus IA. *Dermatological photobiology: clinical and experimental aspects.* Oxford: Blackwell Pub; 1976.
7. McKinlay A, Diffey BL. A reference spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. *CIE J* 1987;6:17-22.

8. Berger DS. Specification and design of solar ultraviolet simulators. *J Invest Derm* 1969;53:192-9.
9. Riordan C, Myers D, Rymes M, Hulstrom M, Marion W, Jennings C, Whitaker C. Spectral solar radiation data base at SERI. *Solar Energy* 1989;42:67-79.
10. Cachorro VE, Utrillas MP, Vergaz R, Durán P, De Frutos A, Martínez-Lozano JA. Determination of the atmospheric-water-vapour content in the 940-nm absorption band by use of moderate spectral-resolution measurements of direct solar irradiance. *Appl Opt* 1998;37:4678-89.
11. Sánchez L, Cuevas E, De la Morena B. Editores. Results of the first Iberian UV-VIS instruments intercomparison. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, 2001 (en prensa).
12. Vanicek K, Frei T, Litynska Z, Schnalwieser A. UV-Index for the public. COST-713 Action (UV-B Forecasting). Bruselas; 2000.
13. Serrano G. Fotosensibilidad inducida por drogas: revisión, estudios clinicopatológicos, fotobiológicos y fotoquímicos durante 10 años (1980-1989). Tesis doctoral. Universitat de Valencia. Valencia; 1990.