

## MODELO GEOMÉTRICO Y CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL DE TUBOS FLUORESCENTES DE LUZ ULTRAVIOLETA

## GEOMETRICAL MODEL AND SPECTRAL CHARACTERIZATION OF FLUORESCENT TUBES EMITTING ULTRAVIOLET LIGHT

EMILIANA JUANIQUINA, FRANCESCO ZARATTI, FLAVIO GHEZZI, FERNANDO VELARDE, & A. R. TICONA BUSTILLOS<sup>†</sup>

Laboratorio de Física de la Atmósfera  
Instituto de Investigaciones Físicas, Carrera de Física  
Universidad Mayor de San Andrés  
c. 27 Cota-Cota, Campus Universitario, Casilla de Correos 8639  
La Paz – Bolivia  
(Recibido 1 de Marzo de 2011; aceptado 9 de Julio de 2012)

### RESUMEN

La radiación de las lámparas ultravioleta, del tipo usado en las camas solares de centros de belleza, es medida y caracterizada usando técnicas espectrales y métodos de dosimetría. Se observa la presencia significativa de radiación ultravioleta B, la cual representa un peligro en su uso en el caso de no tener un control en el tiempo de exposición. Usando el principio de superposición se desarrolla un modelo computacional que toma en cuenta los datos medidos y nos permite calcular el efecto combinado de varias lámparas según la geometría en la que dichas lámparas están dispuestas.

*Descriptor:* Evaluación de dosimetría/exposición (radiación UV) — simulación computacional (en física médica)

Código(s) PACS: 87.50.up, 87.64.Aa

### ABSTRACT

The radiation from ultraviolet lamps, of the type used in sun beds, is measured and characterised using spectral and dosimetric techniques. We observe the significant presence of ultraviolet B radiation which represents a danger to health if time exposure is uncontrolled. Using the superposition principle we developed a computational model which takes the measured radiation data of one lamp and calculates the combined effect of many lamps and geometries that make up potential systems such as sun beds.

*Subject headings:* Dosimetry/exposure assessment of UV radiation — Computer simulation (in medical physics)

### 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día existen en Bolivia muchos sectores e industrias que usan fuentes artificiales de luz Ultra Violeta (UV), por ejemplo soldadores, radiólogos, las curtiembres, etc. A pesar de esto, nuestro país no dispone de una ley relacionada al uso de dichas fuentes. Por eso es esencial realizar un análisis espectral y de dosis de las fuentes de radiación UV que nos permita regular su uso (Camacho 2001; Zuluaga 2009). Uno de las mayores aplicaciones de la radiación UV está en la fabricación de camas y duchas solares.

Las camas solares nos brindan una forma controlada de radiación, mediante la cual podemos broncear nuestra piel, a diferencia de la radiación solar que presenta prácticamente todo el espectro de energías. Sin embargo, el mal uso en los tiempos de

exposición podría resultar en un daño, si no tomamos en cuenta algunos factores que caracterizan a la radiación emitida por estas, así como la interacción de dicha radiación con nuestra piel (Martin et al. 1999).

El principal efecto de bronceado en la piel es producido por la radiación Ultra Violeta A (UVA), por lo cual las lámparas usadas solo deberían emitir este tipo de radiación. Lamentablemente una lámpara que solo emita este tipo de radiación es simplemente un modelo idealizado, ya que debido a diferentes circunstancias técnicas, es imposible que solo se produzca un solo tipo de radiación de manera controlada, por lo que podemos encontrar otros tipos de radiación como la Ultra Violeta B (UVB), la cual puede ser muy nociva para nuestra piel ya que produce diferentes daños en ésta (Miyamura et al. 2011).

Por otro lado, la presencia de radiación UVB en la emisión de estas lámparas, las hacen muy útiles para otras aplicaciones como en biología y ciencias de

<sup>†</sup> aticonab@fiumsaa.edu.bo

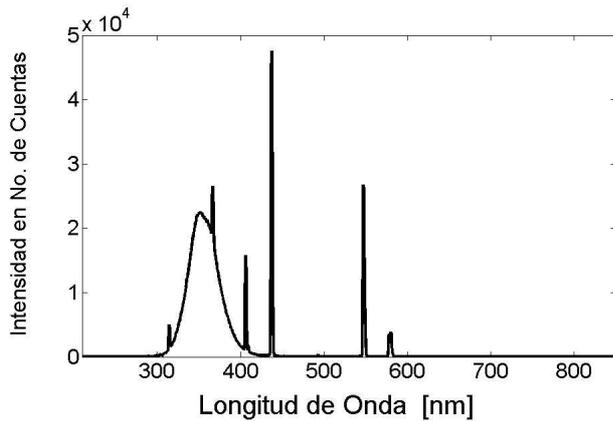


FIG. 1.— Espectro de una lámpara mostrando su intensidad en número de cuentas, en función a las longitudes de onda, medido por un espectro fotómetro Ocean Optics, en la parte central de la lámpara a 20 cm de su eje.

materiales; por ejemplo se han usado para simular en forma controlada condiciones externas en el estudio de resistencia de materiales o para observar diferentes cambios en el comportamiento de las plantas (Palenque et al. 2011).

En este trabajo presentamos un estudio de la radiación que caracteriza a las lámparas que son usadas en este tipo de camas en el mercado local. Estudiamos el espectro y la dosis de una de estas lámparas en función a la distancia radial a su eje, mostrando la cantidad relativa de las componentes en la radiación emitida por dicho tipo de lámparas.

Usando el principio de superposición, proponemos un modelo que nos permita calcular el efecto combinado de varias lámparas según la geometría en las que se encuentran dispuestas. Esto nos permite indicar la dosis y los tiempos máximos de exposición recomendables que corresponden a cada tipo de cama o ducha solar (Teikari 2007).

## 2. ESPECTRO Y DOSIS DE UNA LÁMPARA

Para estudiar el espectro de estas lámparas usamos en primera instancia un espectro fotómetro Ocean Optics USB 4000, el cual recibe luz a través de una fibra óptica. Este instrumento mide de 180 nm hasta a 900 nm, acumulando los datos en número de cuentas por canal, con un espacio de aproximadamente 0.2 nm entre canales, correspondientes a las longitudes de onda medidas. Esto nos permitiría eventualmente analizar el espectro correspondiente al Ultra Violeta (UV), visible y parte del Infrarrojo (IR). Las limitaciones de la fibra óptica cortan esta información desde aproximadamente el UVB, hasta parte del IR. Además, el uso de la fibra óptica presenta algunas restricciones geométricas, en primera lugar, el ángulo sólido de detección de una fibra cubre un espacio relativamente pequeño, lo cual limita sus datos (Martin et al. 1999); en segundo lugar, cada vez que realizamos una medida con este instrumento, debemos situarlo de manera perpendicular a la fuente que estamos midiendo, lo cual no es técnicamente sencillo, de otra manera por la restricción mencionada antes, los datos medidos serán

TABLA 1  
DIVISIÓN DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO, EN FUNCIÓN A LA LONGITUD DE ONDA.

Tipo de Radiación	Longitudes de Onda [nm]
IR	750 - 1500
Visible	400 - 750
UVA	315 - 400
UVB	280 - 315
UVC	200 - 280

menores a los reales. Los datos obtenidos con este detector fueron comparados con los obtenidos por un espectro fotómetro Newport (OrielCat 78347), con el cual se obtuvieron los mismos resultados.

En la última década, la tecnología ha desarrollado dosímetros de UVA y UVB muy estables y de precios asequibles (Martin et al. 1999; Godar 2005). En segunda instancia medimos la dosis de estas lámparas usando un dosímetro Gigahertz OptikXD-9501-4, cuyo cabezal contiene dos sensores que pueden medir la UVA y UVB simultáneamente. Dicho cabezal es plano y situado en el propio instrumento, esto facilita mucho su uso, ya que su ángulo sólido de detección es muy amplio y su colocación, en forma perpendicular con respecto a la fuente, es relativamente sencilla.

Una de las lámparas de bronceado artificial más comunes y usadas en el mercado boliviano por los salones de belleza es la Wolff Velocity de 80 W de potencia, con 3.80 cm de diámetro y 150 cm de longitud.

Para realizar las medidas, se sitúa la lámpara horizontalmente en una mesa óptica, en un ambiente oscurecido, con paredes negras y con muy poca reflexión, así realizamos las medidas sobre el eje radial de la lámpara, con ambos detectores.

La figura 1 muestra el espectro que es obtenido por el espectro fotómetro Ocean Optics al medir la radiación de una de estas lámparas solares. Podemos observar la región del espectro que tiene mayor intensidad, así como también algunos picos característicos de estas lámparas debido al gas que usan éstas y el revestimiento del tubo.

Para el estudio del espectro se usan protocolos bien establecidos (EUROPEAN-COMMISSION 2005; IEC-1228 1996; Gerber et al. 2002). En la Tabla 1 podemos observar la división del espectro electromagnético, en función a la longitud de onda.

En la figura 2 podemos observar un estudio comparativo del espectro de la figura 1 y el ruido de fondo obtenido bajo las mismas condiciones de medida del caso anterior, pero con la lámpara apagada. Para notar mejor las diferencias, en esta figura mostramos el logaritmo natural de la intensidad.

Observamos que cuando la lámpara es encendida se notan cambios desde aproximadamente los 280 nm hasta los 700 nm, esto implica que su espectro se extiende desde la radiación UVB hasta parte del visible, siendo mucho más intensa en la parte del UVA, como era de esperarse en este tipo de lámparas. La contribución de radiación Infrarrojo (IR) solo se nota en los datos de los puntos muy cercanos a los extremos, donde se encuentran los bornes eléctricos,

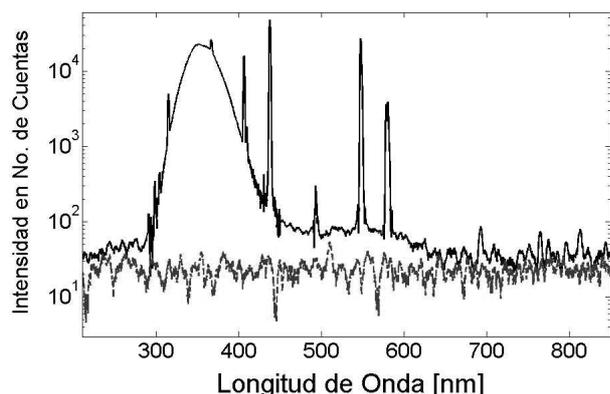


FIG. 2.— Espectro de una lámpara mostrando el logaritmo de su intensidad en número de cuentas, junto a la radiación de fondo medida bajo las mismas condiciones de la figura 1.

pero esto no corresponde a la radiación emitida por la lámpara, por esta razón no tomaremos en cuenta esta parte del espectro en nuestro análisis.

Una vez que tenemos diferenciadas las bandas del espectro que nos interesan en el presente estudio, podemos caracterizar su contribución en la emisión de estas lámparas. Un importante resultado es obtenido al estudiar la radiación en función a la distancia. En la figura 3 podemos observar el comportamiento de las componentes UVA y UVB con respecto a la lámpara, medidas sobre el eje radial de dicha lámpara, en su parte central.

El mismo análisis puede ser realizado con el dosímetro, este comportamiento puede ser observado en la figura 4, donde se muestra el comportamiento de la dosis en función a la distancia.

Para tener una idea de los datos obtenidos con el dosímetro, presentamos dos ejemplos:

1. La dosis del sol a medio día tiene una dosis de  $45.7 \text{ W/m}^2$  para UVA y  $1 \text{ W/m}^2$  para UVB, esto a una altura  $2750 \text{ m}$  sobre el nivel del mar en un día completamente soleado de octubre (29/10/2009).
2. Una ducha solar moderna de 5 tubos (cada uno de  $160 \text{ W}$ ) al nivel de la piel ( $30 \text{ cm}$ ) es de  $194 \text{ W/m}^2$  de UVA y  $2.1 \text{ W/m}^2$  de UVB (Soria 2010).

En las figuras 3 y 4 podemos observar que el comportamiento de la radiación con respecto a la distancia obedece, en su mayor parte, una ley de potencia con exponente  $-1$ , para los cuatro casos mostrados en estas figuras. Esto corresponde al comportamiento de la intensidad de la radiación emitida por un hilo cargado infinito. En el caso de la lámpara este comportamiento se debe a dos factores, primero, como habíamos mencionado, el ángulo sólido de detección de estos detectores son restringidos, lo cual hace que no puedan observar la lámpara entera, entonces desde el punto de vista de estos detectores la lámpara es infinita; en segundo lugar, como el diámetro de la lámpara es relativamente pequeño, a cierta distancia se asemeja a un hilo muy delgado. A distancias pequeñas de la lámpara si se nota el volumen real de ésta, lo cual hace que el comportamiento descrito anteriormente ya no sea válido.

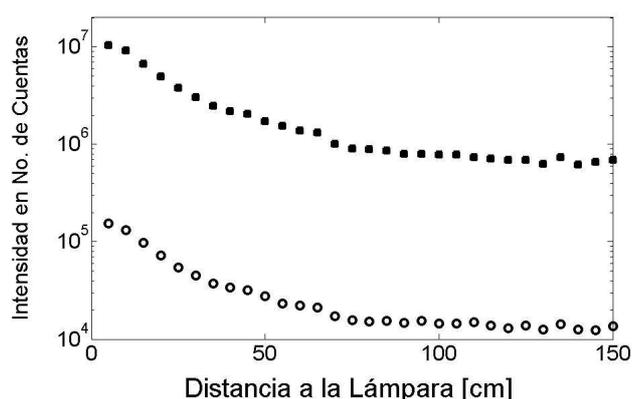


FIG. 3.— Comportamiento de la intensidad de la radiación, medida con respecto a la distancia sobre el eje radial (centro de la lámpara). Los cuadrados (parte superior) corresponden a radiación UVA y los círculos (parte inferior) a la radiación UVB.

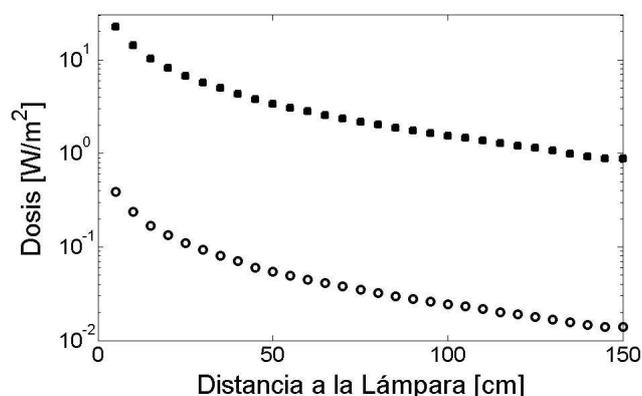


FIG. 4.— Comportamiento de la dosis de la radiación, medida con respecto a la distancia sobre el eje radial (centro de la lámpara). Los cuadrados (parte superior) corresponden a radiación UVA y los círculos (parte inferior) a la radiación UVB.

Por su parte la componente visible de la lámpara también presenta el mismo comportamiento.

Considerando que estos comportamientos son similares podemos determinar un factor de conversión entre los datos de ambos equipos, con lo cual tenemos todos los resultados en unidades de  $\text{W/m}^2$ . El factor obtenido al comparar los puntos de ambas figuras es de  $(5.12 \pm 0.09) \times 10^5$ . La mayor contribución al error en la determinación de este factor, se debe a los datos obtenidos con la fibra óptica, como se observa en la figura 3. Como habíamos mencionado existe mucha dificultad técnica al acomodar la fibra en forma perpendicular a la lámpara.

### 3. ESPECTRO DE ACCIÓN

El efecto de la radiación electromagnética sobre la piel es más nocivo para altas energías, este efecto está cuantificado en el llamado espectro de acción. Existen diferentes definiciones para este espectro de acción, nosotros usamos la definición SIE que nos da un índice dado por (IEC-1228 1996):

$$I_{UV} = \frac{1}{25 \frac{\text{mW}}{\text{m}^2}} \int_{286.5\text{nm}}^{400\text{nm}} I(\lambda) \cdot w(\lambda) \cdot d\lambda. \quad (1)$$

Donde  $I$  representa la intensidad de la radiación,

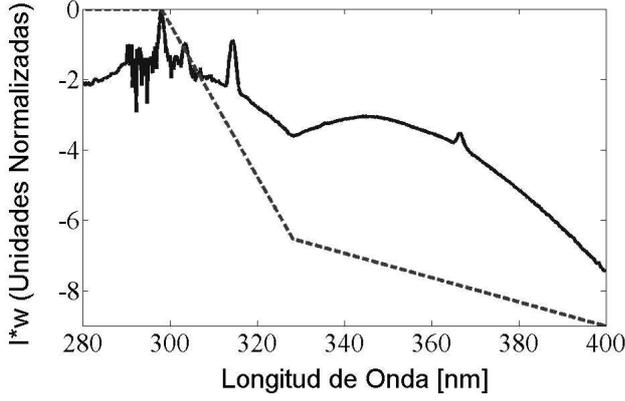


FIG. 5.— Comportamiento de  $I(\lambda) \cdot w(\lambda)$ . La línea punteada toma  $I = 1$ . La línea continua toma los valores de  $I$  medidos para la lámpara, los cuales fueron mostrados en la figura 1, estos se encuentran normalizados para una fácil comparación. El resultado se muestra en escala logarítmica.

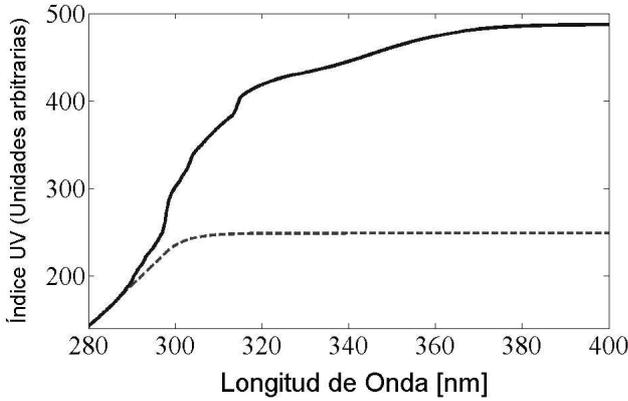


FIG. 6.— Índice UV (espectro de acción, definición SIE). La línea punteada toma  $I=1$ . La línea continua toma los valores de  $I$  medidos para la lámpara. Las unidades son arbitrarias para una fácil comparación.

$\lambda$  la longitud de onda y  $w$  es la ponderación del efecto de la radiación en función a su longitud de onda, dada por:

$$w(\lambda) = \begin{cases} 1 & 250 < \lambda \leq 298 \\ 10^{0.094(298-\lambda)} & 298 < \lambda \leq 328 \\ 10^{0.015(139-\lambda)} & 328 < \lambda \leq 400 \\ 0 & 400 < \lambda \end{cases} \quad (2)$$

En la figura 5 graficamos el comportamiento de  $I(\lambda) \cdot w(\lambda)$ , primero tomamos el valor de  $I = 1$  y comparamos este resultado con el obtenido para la lámpara, considerando las intensidades de la figura 1, para poder comparar estos resultados, normalizamos los resultados obtenidos para la lámpara. Para tener una mejor idea de este resultado mostramos el logaritmo natural de  $I(\lambda) \cdot w(\lambda)$ .

Como podemos observar en la figura 5, la contribución de radiación nociva es bastante importante en la radiación emitida por estas lámparas. Lamentablemente, las restricciones de la fibra óptica solo nos permiten apreciar medidas a partir de aproximadamente  $290 \text{ nm}$ , esto no significa que la lámpara no emita radiación con longitudes de onda

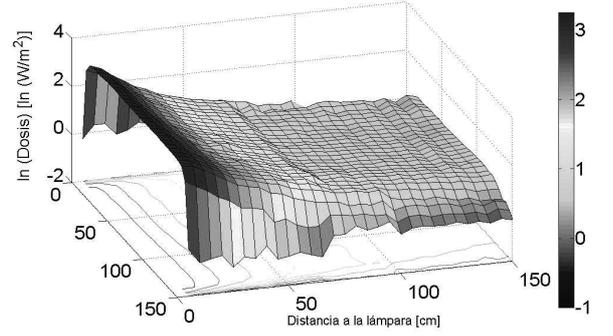


FIG. 7.— Dosis medida de la radiación emitida por la lámpara (en escala logarítmica), en función a la distancia de la lámpara y al eje paralelo a la lámpara. (Figura a color online).

inferiores, lo cual incrementa aun mas, el riesgo en el uso no controlado de estas lámparas.

En la figura 6 observamos el índice UV calculado para la lámpara, usando las ecuaciones 1 y 2, para comparación se muestra el índice considerando la intensidad igual a 1, las unidades son arbitrarias, para que pueda compararse los comportamientos. A pesar que para ambas curvas comienzan en el mismo valor para  $280 \text{ nm}$  (esto debido a la manipulación intencional de las unidades), se nota claramente, que la radiación UVB tiene una contribución bastante importante, lo cual demuestra nuevamente lo peligroso que podría resultar el uso de estas lámparas, como habíamos mencionado antes.

#### 4. DEPENDENCIA DE LA RADIACIÓN CON LA DISTANCIA

Para poder estudiar los posibles impactos de este tipo de lámparas sobre un cuerpo dentro de una cama solar, estudiamos el comportamiento de la intensidad de la radiación emitida en función a la distancia.

Tomamos medidas a lo largo de un eje paralelo al eje radial de la lámpara con espacios de  $5 \text{ cm}$  entre cada medida. Comenzamos a una distancia de  $5 \text{ cm}$  de la lámpara y luego repetimos este procedimiento a cada  $5 \text{ cm}$  hasta alcanzar los  $150 \text{ cm}$  de distancia al tubo. Esto nos permite estudiar las distancias importantes de uso de estas lámparas, ya que en una cama solar, la persona no se encuentra a una distancia mayor a las mencionadas.

En la figura 7 observamos la intensidad de la radiación total de la lámpara medida a diferentes distancias, mostradas en el eje horizontal de la izquierda (profundidad en la figura); en el eje horizontal de la derecha tenemos las distancias paralelas a la lámpara medida en centímetros. El eje vertical y las diferencias de colores nos muestran la dosis de la radiación, la cual fue obtenida usando el factor de corrección entre cuentas y dosis, calculado en la segunda parte de este trabajo. Para que pueda apreciarse con mayor claridad la mostramos en escala logarítmica. Vale la pena recalcar que para esta figura solo usamos las contribuciones de UVB, UVA y visible, por lo explicado con anterioridad, con respecto a la sensibilidad de la fibra óptica.

Como podíamos esperar, la intensidad se reduce aproximadamente 20 veces, desde los  $5 \text{ cm}$  hasta los

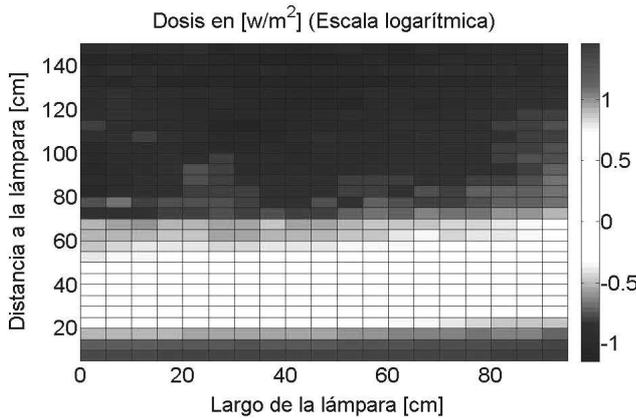


FIG. 8.— Dosis medida de la radiación visible emitida por la lámpara (en escala logarítmica), en función a la distancia de la lámpara y al eje paralelo a la lámpara. (Figura a color online).

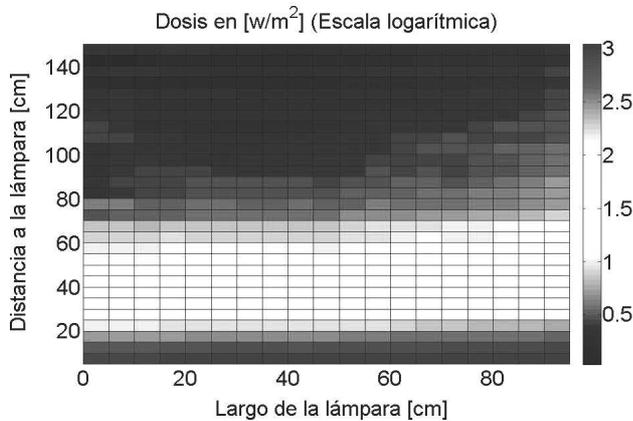


FIG. 9.— Dosis medida de la radiación UVA emitida por la lámpara (en escala logarítmica), en función a la distancia de la lámpara y al eje paralelo a la lámpara. (Figura a color online).

150 *cm* de distancia hacia la lámpara. La sensibilidad del espectro fotómetro, nos permite observar algunas irregularidades en los extremos de la figura, debido a algunos reflejos en las paredes.

Para el resto de nuestro análisis consideramos solo la parte más intensa de la lámpara, que corresponde a los 100 centímetros centrales. Como se puede apreciar en la figura 7, en los extremos, es decir 25 *cm* de cada extremo, los efectos de borde hacen que la intensidad de la radiación emitida sea menor, dándonos valores menores a los que serán mostrados a continuación.

Podemos analizar por separado las contribuciones importantes del espectro de la lámpara y estudiar su comportamiento en función a la distancia. En la figura 8 analizamos el comportamiento de la parte visible del espectro de la lámpara.

El comportamiento es el esperado, mostrando prácticamente el mismo patrón que la figura de la intensidad total. De igual manera podemos analizar la contribución de la radiación UVA, en función a la distancia en la figura 9. El comportamiento es el mismo que el observado en las figuras 7 y 8.

Finalmente podemos realizar el mismo tipo de análisis con la componente UVB, la cual, como ya

TABLA 2  
PORCENTAJE PROMEDIO DE CADA TIPO DE RADIACIÓN.

Tipo de Radiación	Porcentaje
UVB	$1.4 \pm 0.3$
UVA	$78.8 \pm 0.1$
Visible	$19.8 \pm 0.1$

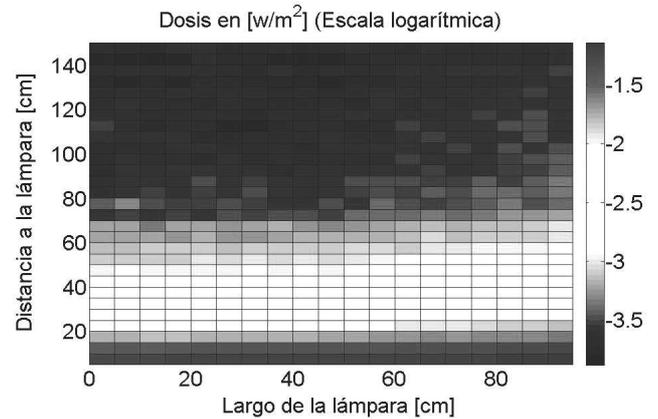


FIG. 10.— Dosis medida de la radiación UVB emitida por la lámpara (en escala logarítmica), en función a la distancia de la lámpara y al eje paralelo a la lámpara. (Figura a color online).

habíamos mencionado, presenta un efecto nocivo para la piel. En la figura 10 observamos la intensidad de esta radiación en función a la distancia al tubo. Como podemos observar, la contribución de esta radiación no es despreciable.

Podemos obtener el porcentaje de cada una de estas tres contribuciones para cada punto donde realizamos la medición, este porcentaje es aproximadamente constante para todos los puntos donde se realizaron estas medidas, los valores son mostrados en la tabla 2.

## 5. MODELO GEOMÉTRICO

En una cama o en una ducha solar, se tiene un arreglo de varias lámparas actuando al mismo tiempo. Debido a las dificultades mencionadas antes, con respecto a las restricciones geométricas que tienen los sensores lo cual ya fue reportado por Martin et al. (1999), resulta muy difícil realizar una medida del efecto combinado de todas estas lámparas.

Una vez que tenemos datos medidos para una lámpara, podemos usar el principio de superposición para poder determinar el efecto combinado de varias lámparas. Nuestro modelo parte de un determinado arreglo de lámparas, para lo cual necesitamos las posiciones de cada lámpara y además podemos considerar la intensidad de cada lámpara. Ya que tenemos caracterizado todo el espectro y el comportamiento de la intensidad de la radiación en función de la distancia, prácticamente para cualquier punto cercano a la lámpara, ahora resulta muy sencillo rehacer un mapeo completo del comportamiento para cualquier intensidad medida en cualquiera de estos puntos.

Una vez que se tienen caracterizadas las lámparas,

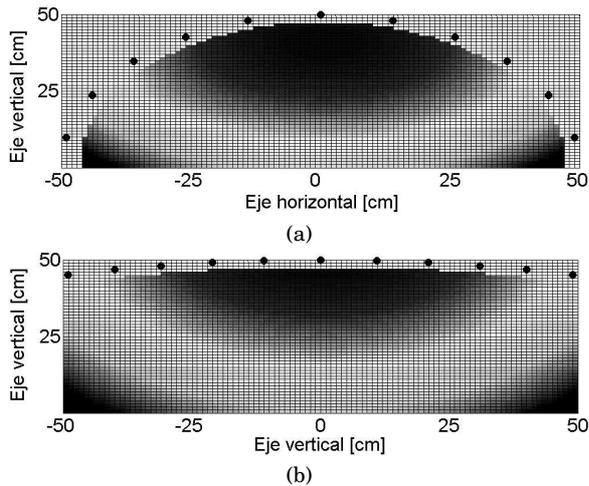


FIG. 11.— Corte transversal de una determinada distribución de lámparas (tipo cama solar). Se muestra la intensidad de la radiación en función a la posición. (a) Distribución cerrada. (b) Distribución abierta. (Figura a color online).

podemos considerar cualquier punto cercano a estas y calcular cual es la intensidad de radiación que este punto está recibiendo de la configuración de lámparas. De esta manera podemos calcular el tiempo de exposición que se requiere, según el objetivo para el cual se utiliza una determinada configuración.

En la figura 11 mostramos un barrido completo para posiciones cercanas a dos determinados arreglos geométricos de lámparas, tipo camas solares. Realizamos un corte transversal en la posición central de las lámparas donde, como habíamos mencionado, se tiene una mayor intensidad de radiación.

En la figura 11(a) se muestra un arreglo bastante cerrado lo cual hace que la intensidad de radiación, sea demasiado alta casi en todos los puntos cercanos a esta configuración, además notamos una distribución poco homogénea, lo cual representaría un peligro en una cama solar, ya que ciertos puntos quedan más expuestos que otros, lo cual daría como resultado un bronceado no uniforme. Por su parte los resultados mostrados en la figura 11(b) corresponden a una configuración menos cerrada, lo cual da una distribución de la radiación, menos localizada y a una distancia de uso típica en una cama solar, presentaría un bronceado más uniforme.

6. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La razón del uso de una cama solar, es obtener un bronceado rápido y controlado. Podemos observar en las figuras 1 y 2 así como también en la tabla 2, que existe una pequeña contribución de radiación UVB, en la radiación emitida por estas lámparas. Debido al tipo de daño que se puede producir con este tipo de radiación, aún esta pequeña contribución, es muy importante en comparación al resto de la radiación UVA, como mostramos en las figura 5 y 6.

Está claro que este tipo de lámparas son muy eficientes en la emisión de radiación UVA, por lo tanto son muy eficientes en el bronceado, como pudimos observarlo en las figura 9, de todos modos, se debe tener cuidado con el tipo de lámparas, controlando los tiempos de exposición en base al espectro de acción de estas.

El modelo presentado en este trabajo, también puede ser usado para el control en el tiempo de exposición, ya que nos da en forma sencilla una buena aproximación, a la intensidad total a la que una persona está expuesta en este tipo de camas. Además podemos usar este mismo modelo para otro tipo de aplicaciones, por ejemplo en muchos casos se usan estas mismas lámparas, para simular en laboratorio el comportamiento de plantas o animales expuestos a este tipo de radiación. Entonces podemos determinar una configuración más eficiente para una determinada aplicación. Es sencillo, con el uso de este modelo, simular sectores menos expuestos, debido a sombras u obstáculos que se presentan en un determinado ambiente, así tenemos control de cuanta radiación recibe cada porción de un determinado objeto.

Finalmente podemos decir que el método y modelo desarrollado en este trabajo se puede aplicar a otras fuentes artificiales usadas en otras industrias.

AGRADECIMIENTOS

Ma. Lourdes Soria M. y su centro de belleza Svelta Cochabamba por su ayuda e interés en un bronceado artificial saludable.

Eduardo Palenque por sus comentarios y observaciones sobre este trabajo.

REFERENCIAS

Camacho F. (2001), *Revista internacional de dermatología y dermo cosmética*, **4** (7), 441  
 EUROPEAN-COMMISSION (2005), *Opinion on Biological effects of ultraviolet radiation relevant to health with particular reference to sun beds for cosmetic purposes* (SCCP/0949/05)  
 Gerber B., Matiz P., Moser M., Bressoud D. & Braun-Fahrlander C. (2002), *Photochemistry and Photobiology*, **76** (6), 664  
 Godar D. E. (2005), *Photochemistry and Photobiology*, **81**, 736  
 IEC-1228 (1996), *amendment 1*  
 Martin C. J., Currie G. D. & Pye S. D. (1999), *Phys. Med. Biol.*, **44**, 843  
 Miyamura Y. & et al. (2011), *Pigment Cell Melanoma Res.*, **24** (1), 136  
 Palenque E. R., Ghezzi F. & Vargas C. (2011), *Revista Boliviana de Física*, **18**, 17  
 Soria M. L. (2010), *Centro de belleza Svelta Cochabamba*  
 Teikari P. (2007), *Light Pollution* (Universitat Tècnica Catalunya)  
 Zuluaga A. (2009), *Rev. Asoc. Colomb. Dermatol.*, **17**, 205