

# Contaminación de luz en Michoacán (campaña para cielos oscuros)

Eduardo Antaramián Harutunián\*

Recibido: 14 de septiembre de 1999

Aceptado en versión final: 16 de agosto de 2000

**Resumen.** El deterioro del cielo nocturno debido a la contaminación lumínica, es decir, el resplandor producido por la luz artificial que se pierde hacia el cielo es un tema que empieza a ser considerado en algunos países, tomando medidas para regular las características de la iluminación. En nuestro país casi no existe conciencia de la contaminación por luz, a pesar de que no sólo ayudaría a disfrutar del cielo nocturno sino también a ahorrar energía. Las observaciones astronómicas se han visto notablemente deterioradas en los últimos años por la contaminación lumínica, siendo el caso más drástico el Observatorio de Tonanzintla en Puebla, que está a tan sólo 13 km de la ciudad del mismo nombre, que tiene más de un millón de habitantes y que debería estar a más de 110 km.

Con la fórmula de Walker se estimó la distancia de escape, es decir, aquella que tiene un brillo menor del 10% sobre el brillo natural. Se consideraron las poblaciones de Michoacán con más de 30 000 habitantes de acuerdo con el censo de 2000, con las que se generó por interpretación un mapa teórico del brillo de luz en Michoacán utilizando un sistema de información geográfica.

**Palabras clave:** Contaminación lumínica, Michoacán, luz artificial, sistema de información geográfica.

## Light pollution in Michoacán (campaign for dark skies)

**Abstract.** The deterioration of night sky due to light pollution - the glare produced by artificial light that gets lost towards the sky - is a topic that is beginning to be considered in some countries, which are taking measures to regulate the characteristics of illumination. In our country, awareness about light pollution is virtually nil, although its reduction would contribute not only to enjoy the night sky but also to save energy. Astronomical observations have been notably deteriorated in the last years by light pollution, the most dramatic case being the Observatory of Tonanzintla in Puebla that is at just 13 km of the city of the same name having over a million inhabitants, and that should be located no closer than 110 km from it.

Using Walker's formula, the escape distance was estimated, that is, where the sky glow is less than 10% of the natural glow. Cities of Michoacán with over 30 000 inhabitants according to the year-2000 census were considered, with which a theoretical map of the sky glow in Michoacán was generated using a Geographical Information System.

**Key words:** Light pollution, Michoacán, artificial light, Geographical Information System.

### INTRODUCCIÓN

La observación del cielo nocturno ha maravillado a la humanidad desde hace muchos milenios; la contemplación de la Vía Láctea, las estrellas fugaces, los planetas y los eventuales visitantes con cauda proporciona placer y nos hace meditar sobre nuestro origen y destino. Pero en los últimos años, la contaminación de luz artificial ha reducido notablemente los lugares de la Tierra donde es posible apreciar el cielo nocturno con todo su esplendor. "La luz del resto del Universo tarda cientos, miles o millones de años en alcanzar nuestros ojos. Que lástima perderla en el último instante de su viaje".<sup>1</sup>

En México los principales observatorios astronómicos (con espejos de un diámetro mayor de 75 cm) son:

*San Pedro Mártir* en Baja California ( $\phi$  31° 2' N,  $\lambda$  115° 27' W) cuenta con tres telescopios de tipo reflector y diámetros de 2.12 m, 1.5 m y 0.84 m, que se encuentra a 143 km de Ensenada (369 000 habitantes), a 227 km de Tijuana (1 212 000 habitantes) y 240 km de San Diego (1 179 000 habitantes y 2.68 millones el condado); para estas poblaciones la distancia recomendada (distancia de escape) es de 50, 100 y 1 409 km, respectivamente; es decir, está lo suficientemente lejos del observatorio.

\*Escuela de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 58000, Morelia, Michoacán. E-mail: eah@unimedia.net.mx

Cananea en Sonora ( $\phi$  31° 3' N,  $\lambda$  110° 23' W) tiene un reflector de 2.10 m y se encuentra a 60 km de Nogales (131 576 habitantes) y 224 km de Hermosillo (504 000 habitantes) y la distancia de escape recomendada es de 40 y 75 km, respectivamente, por lo que la distancia real es mayor que la mínima aceptable.

Tonantzintla en Puebla ( $\phi$  19° 1' N,  $\lambda$  98°17' W) con una cámara Schmidt de 0.8 m y un reflector de 1.0 m se encuentra a 13 km de Puebla (1 200 000 habitantes) y la distancia de escape es de 110 km, por lo que está dentro de la contaminación lumínica de la ciudad.

Hay otros telescopios de 60 cm o menores, muchos de ellos dentro de centros urbanos o muy cerca de ellos, como son el del Cerro de la Luz en Guanajuato, el de Guadalajara, Jalisco, el de Tlalpan, D. F. y el de León, Guanajuato; había otro telescopio de 60 cm en Chapa de Mota, Estado de México, de la Sociedad Astronómica de México, que fue desmantelado por razones confusas.

En este trabajo se analiza sólo Michoacán, en donde hay un planetario importante y una sociedad astronómica con 17 años de fundada, pero se carece de telescopios. La metodología aquí planteada puede resultar de utilidad en otros estados de la República.

Para estimar la contaminación por la luz de las ciudades en Michoacán se utilizó la fórmula empírica de Merle Walker,<sup>2</sup> conocida como la ley de Walker, que nos permite estimar el brillo del cielo en un sitio de observación viendo con un ángulo de 45° del cenit hacia un centro urbano a "r" kilómetros de distancia.

La fórmula es:

$$I = 0.01 \times \text{Población} \times r^{-2.5}$$

donde;

"I" es el aumento del brillo del cielo sobre el nivel natural.

"r" es la distancia del sitio de observación a la ciudad en kilómetros.

(La ecuación ajusta bien donde el promedio de lúmenes por persona está entre 500 y 1 000.)

Para constatar si el promedio de lúmenes que considera la fórmula es adecuada para Morelia, se consultó a la Dirección de Alumbrado Público, donde amablemente nos proporcionaron la información con la que se elaboró la siguiente tabla. Ahí se estima el total de lúmenes para la ciudad, suponiendo que la casi totalidad de lámparas son de sodio de alta

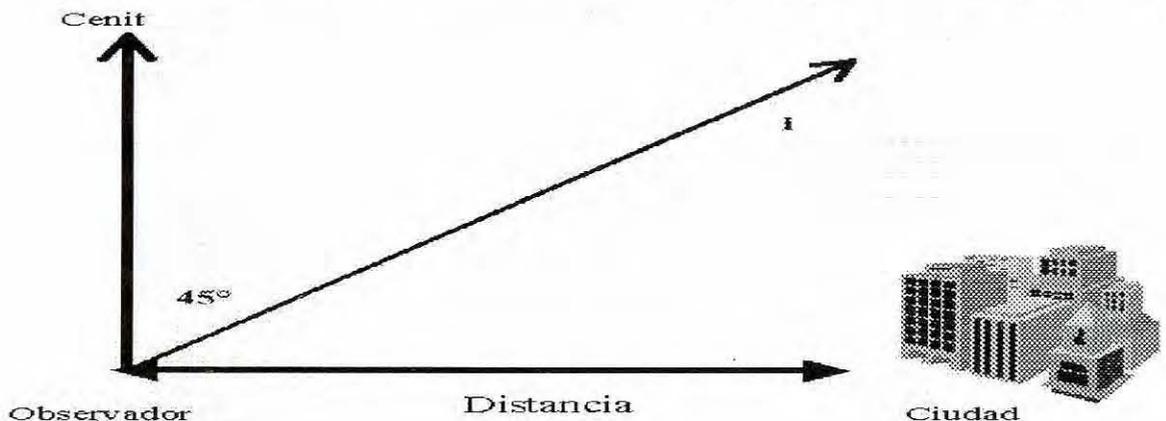


Figura 1. Aumento de brillo de luz medido por la fórmula de Walker.

Tabla 1. Alumbrado público en Morelia

Watts	Lúmenes/lámpara	Lámparas (%)	Núm. de lámparas	Lúmenes
70	6 300	69	13 200	83 160 000
100	9 500	30	6 600	62 700 000
150	16 000	10	2 200	35 200 000
<i>Total</i>			<i>22 000</i>	<i>181 060 000</i>

Fuente: Dirección de Alumbrado Público, Morelia, Michoacán.

Este valor es algo menor que el límite inferior para el cual parece ajustarse mejor la fórmula, que es entre 500 y 1 000 lúmenes por persona, pero si se suman las lámparas particulares de las que no hay un registro se puede considerar que el valor estaría cerca de dicho límite inferior.

## METODOLOGÍA

Para determinar la distancia a la que se puede instalar un observatorio de un centro urbano, se codificó un programa en BASIC (Anexo 1) basado en la fórmula de Walker, considerando un brillo de 10% por encima del fondo natural de luz del cielo.

Con los resultados calculados por dicho programa se generó la Tabla 2.

Para generar el mapa de contaminación de luz en Michoacán se consideraron todas las poblaciones con más de 30 000 habitantes (INEGI, 2000; Tabla 3).

Los datos de la tabla anterior se muestran gráficamente en la Figura 2, en la que también se muestra el acumulado, y en la Figura 3 se pueden ver, en el mapa estatal, los municipios con más de 30 000 habitantes. La población estimada para Michoacán en el año 2000 fue de 3 979 177 habitantes, por lo que la suma de las poblaciones consideradas, que es de 2 697 468 habitantes, representa el 67.8%, o sea dos tercios de la población estatal.

Para generar el mapa de brillo de luz de

Michoacán para las poblaciones de más de 30 000 habitantes (INEGI, 2000) aplicando la fórmula empírica de Walker, se creó un vector cuyos puntos tienen como identificador la población multiplicada por 0.01 (primera parte de la fórmula) y las coordenadas de su ubicación, y con la función INTERPOL del Sistema de Información Geográfica IDRISI Eastman, 1999) se interpoló para generar un mapa de superficie con un modelo exponencial (con exponente 2.5) obteniéndose el mapa de aumento de brillo del cielo para Michoacán.

Se creó una imagen binaria con el contorno de Michoacán (con "unos" en la superficie estatal y "ceros" fuera de ella) y se multiplicó por el mapa de aumento de brillo, el que se reclasificó en diez clases, obteniéndose el mapa que se muestra en la Figura 4. De este mismo mapa se hizo otra reclasificación con sólo dos clases; una con los brillos del cielo de hasta 10%, ya que a este nivel empieza la degradación de la observación astronómica, y la otra con brillos mayores de 10%, la Figura 4a nos muestra este mapa, en donde se puede ver que sólo la parte sur del estado tiene cielos adecuadamente oscuros, al cuantificar su área se obtienen 15 378 km<sup>2</sup> de los 59 592 km<sup>2</sup> del estado, o sea un 25.8%. Se hizo también una representación en 3D de las poblaciones mayores de 30 000 habitantes (Figura 5), en el que la altura representa a la población y donde se puede constatar que en la parte sur del estado, las provincias fisiográficas de la costa y de la Sierra Madre del Sur están prácticamente despobladas, excepción hecha de Lázaro Cárdenas.

Tabla 2. Distancia de escape de la contaminación lumínica

Población (miles de habitantes)	Distancia de escape en km para tener brillo 10% sobre el natural
10	15 848
20	20 913
30	24 595
40	27 595
50	30 171
60	32 453
70	34 517
80	36 411
90	38 168
100	39 811
200	52 531
300	61 780
400	69 314
500	75 786
600	81 519
700	86 704
800	91 461
900	95 973
1 000	100 000
2 000	131 951
5 000	190 365
10 000	251 189
15 000	295 418
20 000	331 445

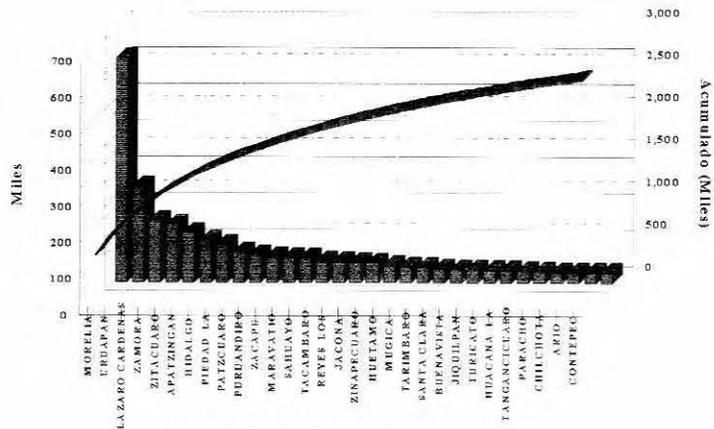


Figura 2. Michoacán: municipios con más de 30 000 habitantes (INEGI, 2000).

Tabla 3. Municipio de Michoacán con más de 30 000 habitantes

Municipio	Núm.	Pob. 2000	Cabecera	Latitud	Longitud	Altitud
Morelia	53	619 958	Morelia	19/42/00	101/10	1 941
Uruapan	102	265 211	Uruapan del Progreso	19/25/00	102/03	1 650
Lázaro Cárdenas	52	170 878	Lázaro Cárdenas	17/57/00	102/11	10
Zamora	108	161 191	Zamora de Hidalgo	19/59/00	102/17	1 575
Zitácuaro	112	137 970	Heroica Zitácuaro	19/26/00	100/21	1 980
Apatzingán	6	117 849	Apatzingán	19/05/00	102/22	320
Hidalgo	34	106 198	Ciudad Hidalgo	19/41/00	100/33	2 140
La Piedad	69	84 785	La Piedad de Cabadas	20/20/00	102/01	1 700
Pátzcuaro	66	78 127	Pátzcuaro	19/31/00	101/36	2 135
Puruándiro	71	71 578	Puruándiro de Calderón	20/05/00	101/31	1 890
Zacapu	107	69 739	Zacapu de Mier	19/49/00	101/47	1 980
Maravatío	50	68 962	Maravatío de Ocampo	19/53/00	100/26	2 180
Sahuayo	76	61 063	Sahuayo de Morelos	20/03/00	102/43	1 550
Tacámbaro	82	59 002	Tacámbaro de Codallos	19/13/00	101/27	1 616
Los Reyes	75	56 826	Los Reyes de Salgado	19/35/00	102/28	1 325
Jacona	43	54 037	Jacona de Plancarte	19/57/00	102/18	1 580
Zinapécuaro	110	48 819	Zinapécuaro de Figueroa	19/51/00	100/49	1 880
Huetamo	38	45 384	Huetamo de Núñez	18/37/00	100/53	295
Múgica	55	42 864	Nuevaltía de Ruiz	19/01/00	102/05	430
Tarímbaro	88	39 368	Tarímbaro	19/47/00	101/00	1 880
Santa Clara	79	38 251	Villa Escalante	19/24/00	101/38	2 220
Buenavista	12	38 039	Buenavista	19/12/00	102/35	450
Jiquilpan	45	36 431	Jiquilpan de Juárez	19/59/00	102/43	1 550
Turicato	97	36 038	Turicato	19/02/00	101/25	795
La Huacana	35	34 175	La Huacana	18/57/00	101/48	480
Tangancicuaro	85	32 678	Tangancicuaro de Arista	19/53/00	102/12	1 710
Parácho	65	31 003	Parácho de Verduzco	19/38/00	102/02	2 220
Chilchota	25	30 523	Chilchota	19/51/00	102/07	1 990
Ario	9	30 475	Ario de Rosales	19/12/00	101/41	1 900
Contepec	17	30 056	Contepec	19/57/00	100/10	2 500
<i>Total</i>		<i>2 697 468</i>				

Fuente: INEGI, 2000.

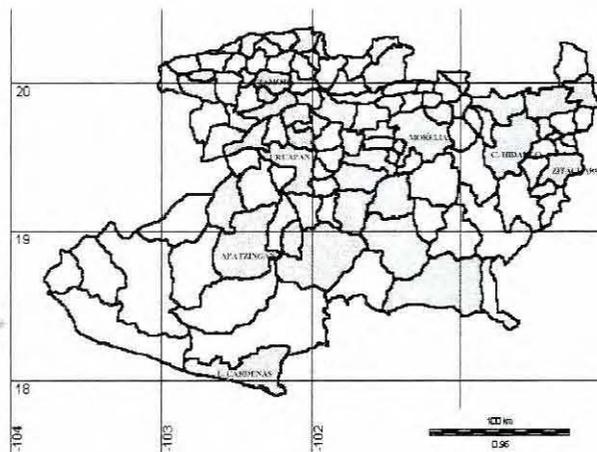


Figura 3. Municipios de Michoacán con más de 30 000 habitantes (INEGI, 2000).

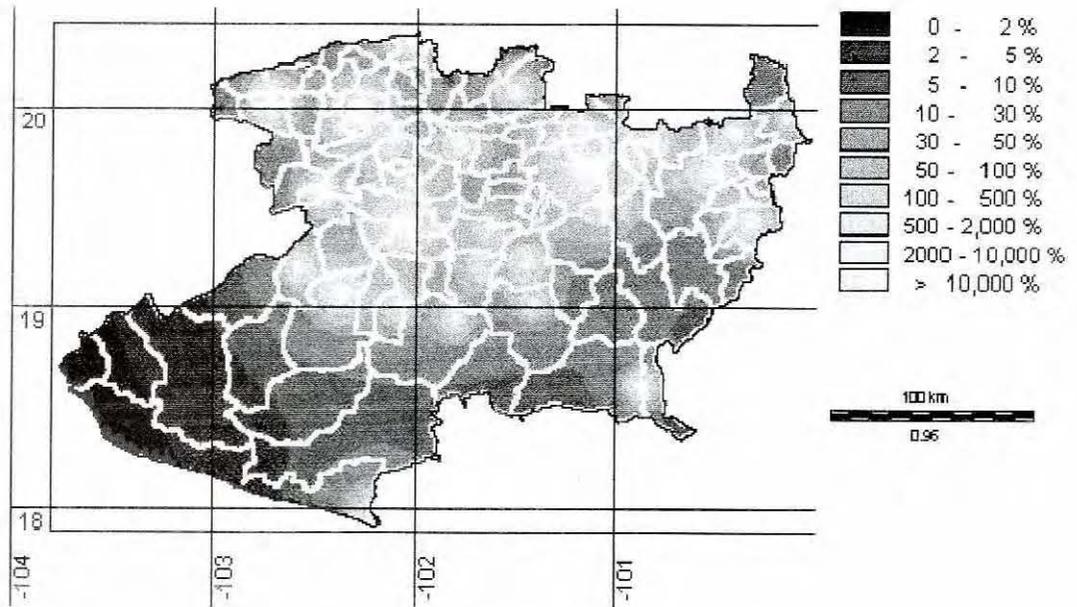


Figura 4. Michoacán, clases de brillo de luz.



Figura 4a. Michoacán, cielos oscuros.

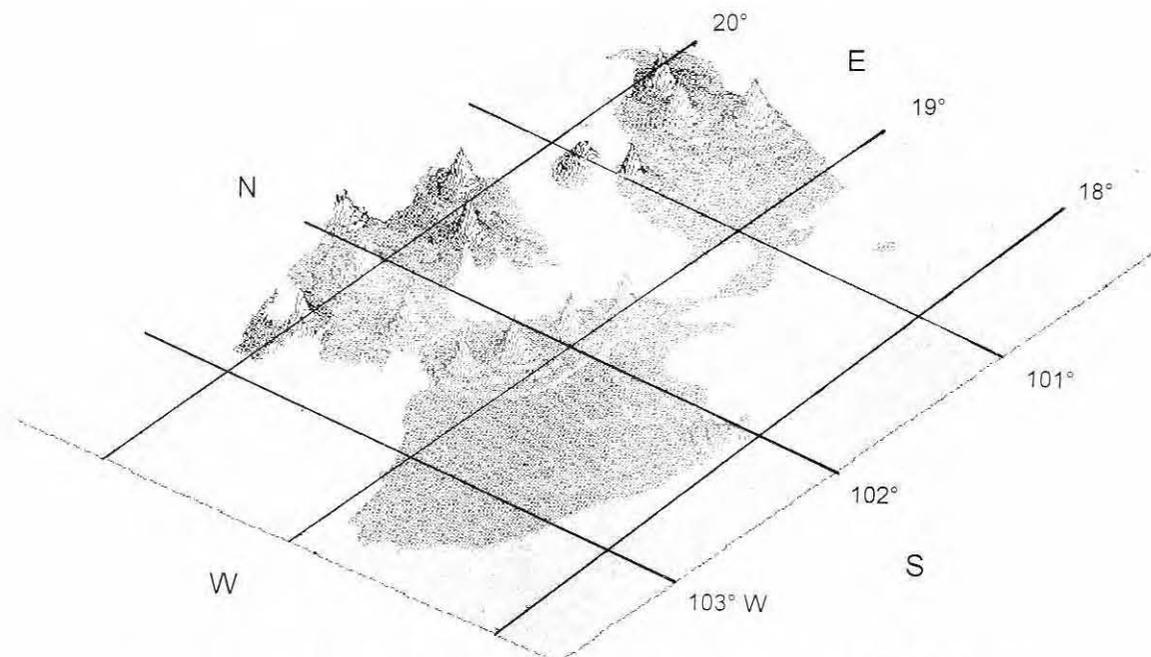


Figura 5. Michoacán, poblaciones con más de 30 000 habitantes (INEGI, 2000).  
\*La altura en esta representación 3D es proporcional a la población.

## DISCUSIÓN

La contaminación lumínica es un problema importante del que apenas se está tomando conciencia. Su efecto negativo no es sólo por el deterioro que causa en el cielo nocturno y afecta a varias especies, sino porque implica un desperdicio de energía, lo que a su vez genera mayor contaminación del aire. Muchos países y ayuntamientos ya están tomando medidas al regular las características del alumbrado público. En México es necesario crear la conciencia sobre este problema para reducirlo.

Los sistemas de información geográfica (SIG) nos proporcionan una herramienta útil para hacer estimaciones de la contaminación lumínica basadas en la distribución espacial de la población.

Imágenes de satélite nocturnas nos permiten visualizar en forma real la contaminación lumínica.

La contaminación lumínica se debe principal-

mente a un mal diseño de la iluminación, al enviarse parte de la luz por encima de la horizontal, lo que se traduce en un desperdicio de energía y causa, además, deslumbramiento de conductores y peatones.

Algunas medidas a tomar para reducir la contaminación lumínica y ahorrar energía son:

- Adecuar los niveles de iluminación a las recomendaciones y normas generales.
- Eliminar o evitar los obstáculos de las luminarias de arriba hacia abajo como es el follaje.
- Utilizar iluminación de arriba hacia abajo.
- Emplear iluminación eficiente como bombillas de vapor de sodio de baja presión.

Como ejemplo se anexa la Tabla 4.

Tabla 4. Guía práctica de niveles de alumbrado recomendados a partir de las 12:00 de la noche

Tipo de vial	cd/m <sup>2</sup>	Luminancia cd/m <sup>2</sup>	cd/m <sup>2</sup>	lux	Iluminancia lux	lux
	Media	Máxima (U <sub>o</sub> 0.35*)	Puntual (U <sub>o</sub> <0.35*)	Media	Máxima (U <sub>g</sub> 25*)	Puntual (U <sub>g</sub> <25*)
Autopistas/autovías	0.9-1.1	1.5	2.5	15-20	30	65
Carreteras generales en travesías por núcleos urbanos muy transitados	0.9-1.1	1.5	2.5	15-20	30	65
Carreteras generales en travesías por núcleos urbanos poco transitados	0.7-0.8	1.1	1.8	10-15	30	40
Arterias urbanas	0.7-0.8	1.1	1.8	10-15	30	40
Residenciales, caminos rurales, carreteras fuera de núcleos urbanos	0.3-0.6	0.8	1	5-10	20	30
Peatonales	-	-	-	5-10	20	30
*U <sub>o</sub> = luminancia min./ luminancia media.						
*U <sub>g</sub> = iluminancia. min./ iluminancia media						

Fuente: Tomada de la Oficina Técnica para la protección de la calidad del cielo del Instituto Astrofísico de las Canarias (IAC).

## GLOSARIO

**Candela o bujía.** Unidad de intensidad luminosa, que corresponde a 1/60 de la intensidad luminosa emitida en dirección normal por 1 cm<sup>2</sup> de un cuerpo negro que está a la temperatura de fusión del platino (1 73°).

**Contaminación lumínica.** Resplandor producido por la luz artificial que se pierde hacia el cielo, procedente, por lo general, del alumbrado público. Esto supone un gasto de energía innecesario.

**Estereorradián.** Unidad de medida de ángulo sólido que tiene su vértice en el centro de la esfera y que corta la superficie de ésta con un cuadrado de lado igual al radio.

**Lumen.** Unidad de flujo luminoso, es la cantidad de energía luminosa que emite en cada segundo un foco de una candela de intensidad por unidad de ángulo sólido, es decir, por estereorradián.

**Nivel de brillo natural.** En el cenit se supone de  $2 \times 10^{-4}$  candela por metro cuadrado o 21.6

magnitudes por segundos de arco al cuadrado. Aumenta hacia el horizonte.

## NOTAS:

<sup>1</sup> British Astronomical Association, Campaign for Dark Skies [www.u.net.com/ph/cfds/](http://www.u.net.com/ph/cfds/)

<sup>2</sup> "Estimating the level of sky glow due to cities", *International Dark-Sky Association Information Sheet*, no. 11, Sep. 1996, <http://www.darksky.org>

## BIBLIOGRAFÍA

📖 Agrupación Astronómica de Madrid (AAM), "Carta emitida a todas las agrupaciones astronómicas de España sobre la contaminación lumínica", [www.iac.es/AA/AAM/carta.html](http://www.iac.es/AA/AAM/carta.html)

📖 Eastman, R. (1999), *Idrisi 32*, Clark Labs, Clark University, USA.

📖 INEGI (2000), *XII Censo General de Población y Vivienda, 2000, Resultados preliminares*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

📖 International Dark-sky Association. "Estimating the level of Sky Glow due to cities", *Information Sheet 11*, [www.darksky.org](http://www.darksky.org)

Leiton, R. (1998), *Polución lumínica: un problema de todos*, Cerro Tololo Interamerican Observatory La Serena, agosto, [www.ctio.noao.edu/~leiton/polucion.html](http://www.ctio.noao.edu/~leiton/polucion.html)

Levy, D. Ten Dark-Sky Years, *Sky & Telescope*, Sep. 1998, pp. 32-36

Mattio, P. (1998), *Contaminación lumínica*, *Universo*, núm. 42, octubre, pp. 20-23.

#### ANEXO 1. Programa para calcular la distancia de escape de la contaminación lumínica

```
108 REM estimar distancia de escape.
240 REM por contaminación de luz de
ciudades.
300 REM hasta una distancia en que esté 10%
por encima.
320 REM del brillo natural del cielo.
340 REM ++++++++
540 INPUT " población inicial en miles: "; PI
570 INPUT " población final en miles: "; PF
575 INPUT " incremento en miles: "; INC
580 REM fórmula utilizada: (de la Ley de
Walker).
590 REM  $I = 0.01 \times \text{población} \times r^{-2.5}$ 
600 REM
660 INPUT "salida por la pantalla <P> o
impresora <I> : ";SA$
680 SW = 0
690 IF SA$="I" OR SA$="i" THEN SW = 1
830 PRINT
832 PRINT " población en distancia de escape
en kilómetros".
834 PRINT " miles de habitantes para tener
brillo 10% sobre el natural".
932 IF SW = 1 THEN LPRINT " población en
distancia de escape en kilómetros".
934 IF SW = 1 THEN LPRINT " miles de habi-
tantes para tener brillo 10% sobre el natural".
990 IF SW = 1 THEN LPRINT
2100 REM cálculo del índice.
2400 REM
2500 FOR N = PI TO PF STEP INC
3000 POB1 = N*100
3100 LNR = LOG(POB1)/2.5
3200 R = EXP(LNR)
3300 REM
10940 W1 = LEN ( STR$ (R)) :W2 = LEN
( STR$ (N))
11020 PRINT USING " ##### ###.### ";
N;R
11030 IF SW = 1 THEN LPRINT USING "
##### ###.### ";N;R
11040 NEXT N
11050 END
```