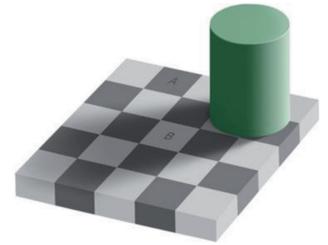


# Herramienta para la evaluación de la luminancia en señales y anuncios luminosos



## LUMINANCE ASSESSMENT TOOL FOR ILLUMINATED ADVERTISEMENTS

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7261> | Recibido: 30/07/2014 • Aceptado: 26/12/2014

José Luis Navas-Borrero<sup>1</sup>, José Ramón de Andrés-Díaz<sup>2</sup>,  
 Juan Ramón Heredia-Larrubia<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Málaga. Dpto. de Tecnología Electrónica. Escuela Politécnica Superior. c/ Dr. Ortiz Ramos, s/n – 29071 Málaga. Tfno: +34 951 952462. [jlnavas@uma.es](mailto:jlnavas@uma.es)

<sup>2</sup> Universidad de Málaga. Dpto. de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos, Área de Proyectos de Ingeniería. ETS Ingeniería Industrial. c/ Dr. Ortiz Ramos, s/n – 29071 Málaga. Tfno: +34 951 952272.

<sup>3</sup> Universidad de Málaga. Dpto. de Tecnología Electrónica. ETS Ingeniería Industrial. c/ Dr. Ortiz Ramos, s/n – 29071 Málaga. Tfno: +34 951 952466.

### ABSTRACT

• The impact on electricity costs and the negative effects on environments such as astronomy and the environment, have led to public administrations regulate lighting installations considering light pollution as an important objective to counteract.

Current regulations regarding light pollution set maximum luminance values, particularly in what concerns the assessment of illuminated advertisements. The determination of the points of the scene where these peaks occur is subject to observation opinion of the technician who perform the action. The sensitivity of the human eye to brightness is nonlinear and misleading in that its purpose is to identify the scene and not the measure of values and light intensities. Moreover, the use of conventional luminance meter involves measuring point to point on the scene. This requires making many measurements in order to sweep the whole scene and determine where the maximum is reached. This action is not only tedious and error prone, but involves taking measurements at different successive instants which affects repeatability errors and variation over time in unstable scenarios.

This paper proposes the use of digital cameras to evaluate the brightness, particularly for illuminated advertisements. In this sense, digital photography has color and brightness information from all points within it. All information is taken simultaneously and can be stored, processed and evaluated by software.

• **Key Words:** light pollution, measurement instruments, photometry, luminance.

### RESUMEN

El impacto sobre los costes de la energía eléctrica así como los efectos negativos que produce sobre entornos como la astronomía y el medio ambiente, han provocado que las administraciones públicas estén regulando las instalaciones de alumbrado considerando la contaminación lumínica como un objetivo relevante a contrarrestar.

La actual normativa que regula los aspectos relativos a la contaminación lumínica establece unos valores máximos de luminancia, en particular en lo referente a las señales y anuncios luminosos. La determinación de los puntos de la escena donde se producen estos valores máximos queda sujeta a la observación subjetiva del técnico que realiza la medida. La sensibilidad del ojo humano al brillo no es lineal y resulta engañosa en tanto que su objeto es la identificación de la escena y no la medida de valores e intensidades. Por otra parte, la utilización del luminancímetro convencional implica la medición punto a punto sobre la escena. Ello obliga a la toma de numerosas mediciones con objeto de barrer la totalidad de la escena y determinar los puntos donde se alcanzan los máximos. Esta acción no sólo resulta tediosa y sujeta a errores, sino que implica la toma de medidas en distintos instantes sucesivos lo que afecta a errores de repetitividad y de variación en el tiempo en escenarios no estables.

En este trabajo se propone la utilización de cámaras fotográficas digitales para la evaluación de la luminosidad, en particular para señales y anuncios luminosos. En este sentido, la fotografía digital de una escena contiene información de la luminancia de todos los puntos de la misma, adquiridos en el mismo instante y en un soporte que permite su almacenamiento así como su proceso y evaluación por programa.

**Palabras Clave:** contaminación lumínica, instrumentos de medida, fotometría, luminancia.

### 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las normativas nacionales y autonómicas están empezando a contemplar y regular la contaminación lumínica [1, 2], tanto por sus efectos negativos en la naturaleza y en la astronomía, reconocidos internacionalmente [3-8], como por el alto coste económico derivado de su origen energético. Las instalaciones de alumbrado constituyen el principal origen de este tipo de contaminación. Consecuentemente, las normativas que se están elaborando, en el marco

de la prevención y protección contra los efectos de la misma, se centran principalmente en dichas instalaciones. En este sentido, las Instrucciones Técnicas Complementarias [1] que establecen los procesos de evaluación y medición de las emisiones luminosas detallan exhaustivamente la metodología a seguir para la evaluación de las instalaciones de alumbrado. Sin embargo, en lo relativo a otras fuentes de emisión luminosa, como es el caso que nos ocupa de las señales y anuncios luminosos, la normativa prácticamente se limita a establecer unas tablas con valores máximos en distintas circunstancias (Figura 1).

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO		MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	ITC- EA-02
Tabla 13 - Niveles de luminancia máxima de señales y anuncios luminosos.			
Superficie (m <sup>2</sup> )	Luminancia Máxima (cd/m <sup>2</sup> )		
S ≤ 0,5	1.000		
0,5 < S ≤ 2	800		
2 < S ≤ 10	600		
S > 10	400		

En todo caso, se deberán cumplir los valores máximos de luminancia de rótulos y anuncios luminosos, establecidos para cada Zona E1, E2, E3 y E4 en la tabla 3 de la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-03.

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO		RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO Y LUZ INTRUSA O MOLESTA				ITC- EA-03
Luminancia máxima de señales y anuncios luminosos (L <sub>max</sub> )		50 cd/m <sup>2</sup>	400 cd/m <sup>2</sup>	800 cd/m <sup>2</sup>	1.000 cd/m <sup>2</sup>	

Figura 1: Extractos de las ITC EA-02 y EA-03

La determinación de los puntos de la escena donde se produce el valor máximo queda sujeta a la apreciación visual del técnico que realiza la medición. La respuesta de la visión humana no está orientada a la medición de valores de brillo sino a la apreciación de los elementos de la escena. Existen múltiples factores que alteran la determinación visual de los valores máximos de una escena. Ésta depende de colores, rangos (respuesta no lineal), interpretación, etc.

La apreciación visual del humano es engañosa [9] porque el ojo y el cerebro adaptan la información captada en función a diversos parámetros. A modo de ejemplo, en la Figura 2 (tablero de Adelson), las cuadrículas A y B son idénticas en tanto que el ojo humano las aprecia distintas.

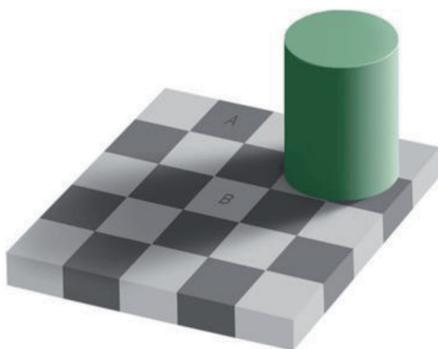


Figura 2: Ilusión óptica - Tablero de Adelson

La única alternativa fiable para poder evaluar los puntos de máximo brillo pasaría por la medición sobre una malla que cubriera todos los puntos de la escena y su posterior proceso nu-

mérico. El barrido de todos los puntos de la escena efectuando la medida con un luminancímetro, punto a punto, resulta una tarea no sólo tediosa y larga sino sujeta a errores de medida. Una alternativa que resolvería esta problemática es la utilización de la fotografía digital. Una imagen digital de una escena está en sí formada por una malla de píxeles o puntos que conforman la propia imagen. Cada pixel contiene información de color y brillo correspondiente al mismo. En este sentido, obtener los puntos de máximo brillo de una escena a partir de una fotografía digital de la misma resulta casi inmediato y, el valor obtenido para dichos puntos es relativamente aceptable.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. MATERIALES

El estudio principal se ha realizado con una cámara digital PENTAX K-x y un luminancímetro KONICA MINOLTA LS110. Así mismo se han utilizado plantillas de grises y una tableta Color Cheker de X-rite que incorpora patrones de colores, patrones de grises y una carta gris neutro (Figura 3).



Figura 3: Equipo principal

Las medidas se han realizado tanto en el interior, utilizando una cámara cerrada negra construida específicamente, como objeto de aislarse de las condiciones de entorno, como en el exterior con objeto de incorporar el efecto de estas condiciones ambientales externas que, a fin de cuentas, están presentes en los contextos reales objetos de las evaluaciones que nos ocupan.

El programa de análisis de las fotografías tanto para la extracción de la información RGB como del tratamiento del formato RAW utilizado ha sido la utilidad software suministrada por el propio fabricante de la cámara (PENTAX Digital Camera Utility 4.10) y que utiliza el programa *Silkypix Image Processing Engine* de Ichikawa Soft Laboratory. Así mismo se ha utilizado el programa Excel de Microsoft para la recogida y procesamiento de datos. Para la realización del programa herramienta para la aplicación propuesta se ha utilizado el CVI (C for *Virtual Instrumentation*) de National Instruments. Una

ventaja de este programa es que nos ha facilitado la elaboración del panel virtual de usuario.

### 2.2. MÉTODO DE ENSAYO

La ecuación que nos permite conocer el brillo relativo correspondiente al código RGB [10] es:

$$\text{Brillo} = 0,2126 R_I + 0,7152 G_I + 0,0722 B_I \quad (1)$$

donde los datos  $R_I$ ,  $G_I$  y  $B_I$  son los valores linealizados de la información respectiva R, G y B. Estas componentes R, G y B son las respectivas proporciones rojo, verde y azul codificadas de 0 a 255 para cada pixel. Esta linealización responde a una compensación que se realiza en el revelado del fichero RAW para obtener una respuesta acorde a la respuesta del ojo humano que no es lineal. Por esta razón, los fabricantes de máquinas fotográficas aplican, al espectro luminoso, una corrección, llamada gamma. Esta corrección depende de éste parámetro que no siempre se elige del mismo valor (1, 1.5, 2, 2.2, 2.4...). Si esta información no está disponible en la documentación de la cámara, con unas pocas mediciones y comparaciones resulta relativamente fácil obtener la constante utilizada por el fabricante de la misma. Contrastando la linealidad de la información obtenida y las mediciones realizadas con el luminancímetro se ha establecido el valor de gamma correspondiente a nuestra máquina.

La codificación RGB asigna un rango de 0 a 255 al rango dinámico ofrecido por la instantánea. Ahora bien, el rango dinámico del sensor de la cámara no abarca todas las posibilidades que puede tener una escena, desde una oscuridad total hasta el máximo brillo. Para adaptar el rango de la escena al rango del sensor, se modifican las condiciones de tiempo de exposición, la apertura del diafragma y la sensibilidad (ISO) buscando la mejor combinación de ambos rangos. Este valor medio se codifica en una zona media del rango de códigos de 0 a 255. Existen diversas teorías en cuanto a la elección del código correspondiente a este valor medio en base a criterios de determinación de lo que sería un valor medio en la sensibilidad del ojo humano no siendo ésta simétrica en la respuesta a oscuros y a brillos. Normalmente se toma el valor gris neutro entre un 12% y un 18% del rango dinámico [11, 12]. Un valor del 18% se corresponde con el 45.9 en la escala de 0 a 255.

La combinación de tiempo de exposición (T), apertura de diafragma (A) y sensibilidad (ISO,  $S_x$ ) establece lo que se denomina el valor de exposición (EV) según la ecuación siguiente [13,14]:

$$EV = \log_2 \frac{A^2}{T} = \log_2 \frac{B S_x}{K} \quad (2)$$

Esta combinación es elegida por un algoritmo de la máquina en función del brillo medio mencionado (B) y de una constante (K) que fija el fabricante.

Ahora bien, el brillo B obtenido es el que ha recibido el sensor en las condiciones mencionadas pero no necesariamente es el brillo que realmente presenta la escena. El sensor responderá a la cantidad de fotones recibidos por unidad de tiempo. Si está expuesto a la escena un determinado tiempo alcanzará un determinado nivel de brillo, si lo exponemos la mitad de

tiempo alcanzará la mitad de dicho nivel. Lo mismo se puede decir de la apertura del diafragma en tanto que la cantidad de fotones que alcanzan al sensor será igualmente proporcional a la superficie de la apertura. En las máquinas de película el ISO refleja la sensibilidad de ésta pero en las máquinas digitales el ISO responde a un factor de amplificación.

Estas condiciones se reflejan en la Ecuación 2 en el término  $A^2/T$ . La información de estos parámetros se puede extraer de la cabecera del fichero que contiene la fotografía.

El factor de amplificación introducido por el uso de diferentes magnificaciones (zoom) no se considera en tanto que se produce un cambio de área y de ángulo sólido, cancelándose ambos. [15]

A partir de estos datos, determinando el rango dinámico del sensor así como varios factores de error e incertidumbre, se puede extraer una información del brillo de los píxeles con un error aceptable para múltiples aplicaciones. Los factores de error que pueden intervenir son diversos (viñeteo, ruido, saturación, linealidad...) [17], sin embargo en parte son absorbidos por la calibración y en parte se asumen por debajo de nuestro margen de tolerancia (5-15%). Un valor en la escala de 0 a 255 no se corresponde con un valor de luminancia absoluto. Así, el mismo código RGB se corresponde con diferentes valores de luminancia dependiendo de la combinación de diafragma, tiempo de exposición e ISO utilizados.

Las diferentes escenas pueden tener rangos dinámicos muy diferentes. El rango dinámico de las posibilidades de iluminación en el mundo real es mucho más amplio que el del sensor de la máquina y que el del ojo humano. El ojo abarca un amplio margen del rango real adaptándose al valor medio de la escena jugando con la dilatación de la pupila. Del mismo modo en la máquina se puede variar su diafragma, su tiempo de exposición y su sensibilidad (ISO).

En la Figura 4 se observa que la codificación de 0 a 255 del rango dinámico del sensor no refleja un rango absoluto de valores de iluminación sino que responderá al rango trasladado por las condiciones de disparo (apertura, exposición e ISO). Las distintas combinaciones posibles nos permiten subexponer o sobreexponer una fotografía.

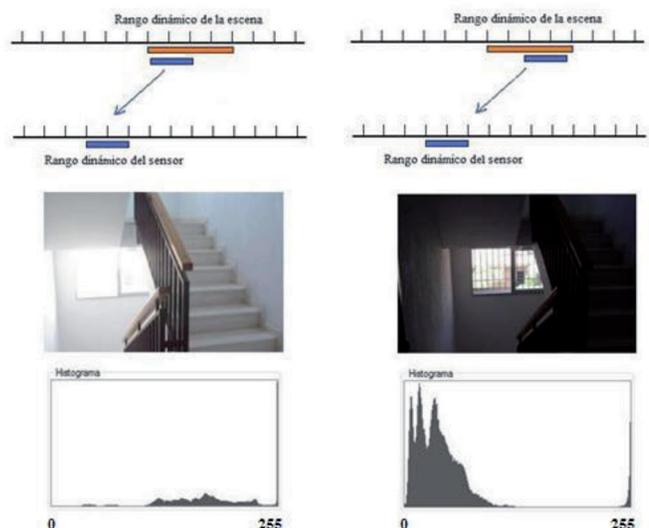


Figura 4: Adaptación del rango dinámico del sensor al de la escena, histogramas respectivos



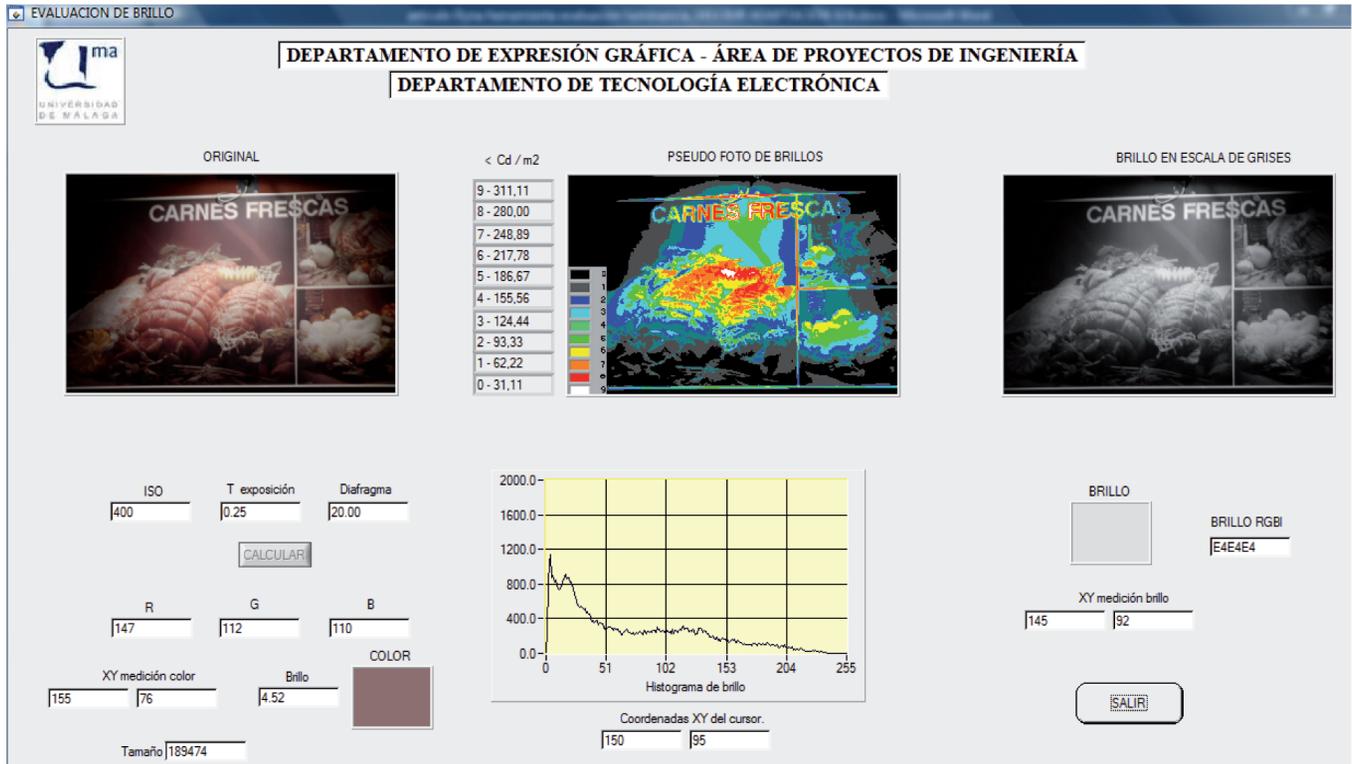


Figura 6: Panel de usuario de la aplicación CVI

Aplicando el mismo cálculo establecido con anterioridad a partir de los valores de ISO, tiempo de exposición y diafragma se establecen 10 niveles intermedios a partir del máximo establecido. Con ello se genera una pseudofotografía basada en estos 10 niveles y que nos permite identificar las zonas próximas a dicho máximo facilitando la localización de éstos.

Para localizar el máximo permitido en la zona central del histograma bastará con aplicar la Ecuación 2 y deducir los valores ISO, Texp y diafragma idóneos que se fijarán en modo manual en la cámara (Tabla 1):

K	ISO (S <sub>x</sub> )	A (diafr.)	T (Texp)	Brillo	EV
14	100	22	0,05	1355,2	13,2407913

Tabla 1: Valores recomendados para centrar el valor máximo en el histograma

### 3. RESULTADOS

Utilizando la herramienta diseñada, se han realizado pruebas con diferentes señales y anuncios luminosos constatándose la facilidad con la que se pueden localizar las zonas de máximo brillo en los mismos evitándose errores de apreciación del usuario. Así mismo se han podido realizar mediciones sobre la fotografía, todas ellas correspondientes al mismo instante. Ha de tenerse en cuenta que si se deben realizar varias mediciones de una misma escena, en el caso de un luminancímetro, éstas no se corresponden a un mismo instante ya que la medida se hace punto a punto. En determinados casos la escena puede ser cambiante por lo que resulta imposible una medición de varios puntos en el mismo instante.

La Figura 7 ilustra un ejemplo de los resultados obtenidos.

En esta toma, observando sólo la fotografía original resulta altamente difícil encontrar el punto o zona de máximo brillo,



Figura 7: Ejemplo de panel donde resulta difícil apreciar subjetivamente los puntos de mayor luminancia

por lo que el usuario se vería obligado a realizar diferentes tomas buscándolo. En la pseudofotografía de la derecha se observan claramente estos puntos e incluso se podría decir que no resultan evidentes viendo la fotografía original.

Cabe indicar que el objeto de las tomas no ha sido la mera fotografía de la escena, sino su posterior tratamiento para la medición de luminancia. En este sentido pueden parecer oscuras y subexpuestas. Este efecto se produce intencionadamente con objeto de evitar saturaciones próximas al 255 que no se podrían discernir. En el caso que nos ocupa, tratándose de determinar valores máximos de luminosidad, se procura subexponer la fotografía para obtener un mayor rango de valores en las zonas de más brillo, como se indica en el apartado anterior. Como se ha indicado anteriormente, de la Ecuación 2 se deduce el EV correspondiente a un brillo por lo que, de la

misma, se puede extraer un valor de exposición, diafragma e ISO que nos permita centrar el valor límite en el histograma. Las cámaras actuales nos permiten visualizar el histograma directamente sin necesidad de su proceso en ordenador.

#### 4. DISCUSIÓN

Existen diversos trabajos previos que analizan la utilización de cámaras digitales para aplicaciones luminotécnicas [17-19], en algunos casos se utilizan cámaras específicas no comerciales cuyo coste puede incluso superar el de los luminancímetros. La utilización de cámaras fotográficas para la medición de la luminancia en distintos entornos se ha realizado en otros contextos como la astronomía [3,5], entornos medioambientales [5-7] o alumbrado de carreteras [8].

Por lo general se utilizan aproximaciones matemáticas a la curva de respuesta que se obtienen tras una calibración específica de la cámara utilizada. Una diferencia destacable con esta propuesta radica en el hecho de que en dichos trabajos se busca la utilización de la cámara como luminancímetro en todo su rango, de ahí la necesidad de calibraciones y modelos matemáticos más o menos complejos. En esta propuesta sólo se pretende evaluar las señales y anuncios luminosos en un rango concreto fijado por la normativa mencionada. En este sentido sólo se requiere obtener la máxima precisión en dichos valores máximos. La función respectiva es creciente por lo que no superando los máximos especificados no resulta crítica la precisión de los restantes valores.

A diferencia de los entornos mencionados, la evaluación que en nuestro caso se necesita realizar consiste en la detección de

umbrales máximos. Así mismo, nuestro rango dinámico se empuja en torno a las 2000 cd/m<sup>2</sup> con lo que, según hemos visto, sólo se necesita una condición de disparo o EV prefijado. A partir de ésta toma, con la simple visión del histograma, podemos detectar dichos umbrales. El tratamiento posterior de la toma con el programa nos permitirá analizar con mayor detalle el resultado.

Con los resultados obtenidos se consigue disponer de una herramienta eficaz para la evaluación de la luminancia en señales y anuncios luminosos con un coste y prestaciones aceptables.

La principal ventaja de esta propuesta radica en la eliminación de la subjetividad del técnico que realiza la medida y en el bajo coste de la herramienta (en comparación con el luminancímetro profesional) contando además con la ventaja añadida de la toma de medida simultánea en todos los puntos de la escena a medir. A todo ello hay que sumar el considerable ahorro de tiempo que supone esta propuesta respecto a la idea de realizar manualmente y punto a punto las medidas con un luminancímetro. Por otra parte, la propia fotografía, así como los datos extraídos de ella, permiten la generación de informes y/o su incorporación en éstos.

Como se ha mencionado, serán incontables las oficinas de proyectos, administraciones locales y entidades públicas que tienen que aplicar la normativa mencionada y esta herramienta supone una ayuda apreciable para dicho objetivo. Complementariamente, el traslado de estos resultados a otros contextos permitiría la realización de aplicaciones que permitieran el uso con cámaras de dispositivos móviles y otros que ampliarían el campo de utilización. La eliminación de errores de subjetividad, la disponibilidad de una cámara digital en este contexto y la inmediata obtención de resultados aceptables son sin duda las principales defensas de esta propuesta.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] España. Andalucía. Decreto 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía núm. 159 p.11
- [2] España. Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. Boletín Oficial del Estado núm. 279, p.46017 y p.46024
- [3] Díaz-Castro F. "La contaminación lumínica. Impacto en las observaciones astronómicas" DYNA. DICIEMBRE 1996. Vol. 71-9 p.57-60
- [4] Alducín-Garrido J, Del Pozo-Gil R, Mendiola-Egaña R et al. "La contaminación lumínica" DYNA. DICIEMBRE 2005. Vol. 80-9 p.11-15
- [5] Falchi F, Cinzano P, Elvidge Christopher D, et al. "Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility." Journal of Environmental Management (2011), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.029>
- [6] Ron Chepesiuk. "Missing the Dark: Health Effects of Light Pollution." Environmental Health Perspectives. Vol. 117 num.1 2009 DOI: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.117-a20>
- [7] Sharon Wise. "Studying the ecological impacts of light pollution on wildlife: Amphibians as models." Department of Biology. Utica College, Utica, NY U.S.A. <http://www.starlight2007.net/pdf/proceedings/SharonWise.pdf>
- [8] Zatari Ashraf, Dodds Gordon, McMenemy Karen, et al. "Glare, Luminance, and Illuminance Measurements of Road Lighting Using Vehicle Mounted CCD Cameras" LEUKOS VOL1NO 2 OCTOBER2004 p.85-106
- [9] Adelson Edward H. "Checkershadow Illusion". [http://web.mit.edu/persci/people/adelson/checkershadow\\_proof.html](http://web.mit.edu/persci/people/adelson/checkershadow_proof.html) <http://persci.mit.edu/gallery/checkershadow>.
- [10] IEC 61966-2-1:1999 Specification of sRGB
- [11] David R. Spielman "The ANSI PH3.49-1971 Specification And the Myth of the 18% Light Meter Calibration". Brooks Institute of Photography. May, 2001
- [12] Kerr Douglas A. "Exposure Meter Calibration." Issue 1 May 6, 2006 [http://dougkerr.net/Pumpkin/articles/ISO\\_Dynamic\\_range.pdf](http://dougkerr.net/Pumpkin/articles/ISO_Dynamic_range.pdf)
- [13] International standard ISO 2720:1974. ISO copyright office, 1974
- [14] International standard ISO 2721:2013. ISO copyright office, 2013
- [15] Hiscocks Peter D. ,P. Eng. "Measuring Luminance with a Digital Camera". <http://www.ee.ryerson.ca/~phiscock/astronomy/light-pollution/luminance-notes.pdf> September 16, 2011
- [16] Constantinos A. Bouroussis, Frangiskos V. Topalis. "A proposed system for real time luminance measurements of road and tunnel lighting installations." National Technical University of Athens - School of Electrical and Computer Engineering Lighting Laboratory.
- [17] Dietmar Wüller, Gabele Helke. "The usage of digital cameras as luminance meters" SPIE-IS&T / Vol. 6502 65020U-1 (2007)
- [18] Bellia L, Cesarano A, Minichiello F, Sibilio S. "Setting up a CCD photometer for lighting research and design" Building and Environment 37 1099-1106 (2002). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132301000932> DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00093-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00093-2)
- [19] Sierra-Garriga C. "Aplicaciones Luminotécnicas de cámaras digitales" Tesis Doctoral. Director: San-Martín-Páramo R. Departamento de Proyectos de Ingeniería de la Universidad Politécnica de Catalunya - Barcelona (2002)