



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS
AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

UNIDAD ZACATENCO

**PROGRAMA DE DOCTORADO TRANSDISCIPLINARIO
EN DESARROLLO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO PARA
LA SOCIEDAD**

**“Caracterización científica y tecnológica
de la iluminación *Led* y sus implicaciones
sobre la salud en México”**

PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

Que presenta

M.C. Rigoberto Arroyo Cortez

Ciudad de México

Septiembre 2016

Comité Tutorial

Co-dirección

Dra. América Padilla Viveros

Agencia de Comercialización de Conocimiento del Cinvestav – DCTS
Centro de investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Zacatenco

Dr. Edgar Zayago Lau

Centro de investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Zacatenco - DCTS
Universidad Autónoma de Zacatecas

Asesores

Dr. José Víctor Calderón Salinas

Depto. Bioquímica - DCTS
CINVESTAV, U. Zacatenco

Dra. Sonia Leva

Depto. di Energia
Politecnico di Milano, Italia

Dr. Miguel Ángel Pérez Angón

Depto. Física - DCTS
CINVESTAV, U. Zacatenco

Asesor (4)

POR CONFIRMAR

--

Introducción. Exploración teórica-empírica

La mejora continua y acelerada de los diodos emisores de luz (*Leds*) cuya percepción de color es cercana al blanco, ha llevado a esta tecnología a ser cada vez de mayor utilización debido a su virtuosa eficiencia en aplicaciones de iluminación general (Faranda, Guzzetti y Leva, 2010).

Un *Led* es un elemento constituido por una unión semiconductor (IEEE, 1980) hecha de silicio o germanio, que según la orientación cristalina un lado es llamado del tipo *p* y el otro del tipo *n*, tal orientación (Fig. 1a.) le da propiedades de polarización. Al hacer pasar corriente eléctrica ésta se rectifica en la unión, fluyendo solamente en un solo sentido (positivo o negativo) pero además, se emiten fotones debido a que cuando los electrones lograron romper el umbral de temperatura de la unión pasan de un lado del cristal al otro decayendo en su nivel de energía y recombinando su carga con los huecos, a este tipo de luz se le llama electroluminiscente (Edison Tech Center, 2013). Por la técnica que añade fósforos y al tipo de encapsulado, un *Led* puede cambiar su color de emisión y amplificar su brillo, pero también le acompaña el efecto Joule [calor] debido a las resistencias de contacto intrínsecas de los conductores de unión (ánodo-cátodo) para ensamblarlos con los electrodos externos.

Al controlar el valor de corriente por la unión interna del encapsulado el calor se puede disipar a través de los mismos electrodos, como en los chips más conocidos de 3 y 5mm (fig. 1b), y en el caso de los chips de mayor potencia se añade una mayor área superficial para la disipación del calor generado. En un dispositivo destinado para la iluminación general se requiere confinar un circuito que puede contener decenas o más de un centenar de *Leds*.

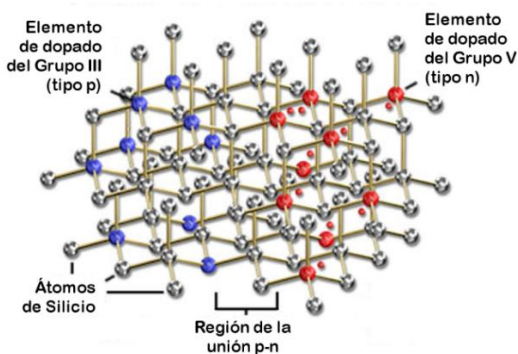


Figura 1a. Región de la unión p-n de la estructura cristalina tetraédrica del silicio
Fuente: Adaptado de la FSU, 2014.

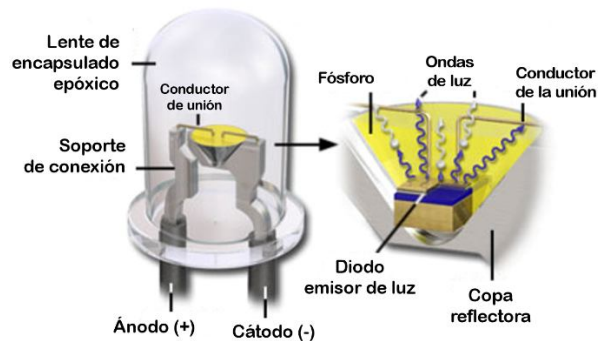


Figura 1b. Anatomía de un *Led* luz blanca
Fuente: *Ibidem*

Hoy en día, las técnicas de encapsulado de *Leds* para iluminación se han mejorado con los de montaje superficial (fig. 2a), y otros ya tienen la capacidad de contener varios chips *led* en un solo bloque (fig. 2b), por lo que su suelde requiere de mayor atención. Las técnicas que evitan el uso de metales pesados como plomo-estaño resultarán clave (Fullerton, 2009). Aunado a ello, el tema de producción de ledes que otorguen más brillo y el control del mismo parece acentuarse en los últimos años (Padilla-Rosales et Al., 2015), esto resulta clave para la producción de nuevos dispositivos capaces de emular los tonos de la luz natural según los distintos horarios, que para la fisiología humana resultará muy benéfico.^{7,10,11,12,13,22}



Figura 2a. Leds miniatura | **Figura 2b.** multichip Led
 Fuente: internet | Fuente: Osram, 2015

Estado de la técnica [Primera aproximación]

Avance del conocimiento [análisis bibliométrico]

En lo que se refiere al campo del conocimiento, con la revisión de publicaciones científicas en la base de datos *Scopus* respecto al problema de estabilidad en el rendimiento de los dispositivos a *Leds*, se tiene un avance satisfactorio desde 2008 y aunque no se ha logrado la eliminación total de algunas de sus desventajas, existen muchos esfuerzos que van en ese camino, como lo es la continua mejora del CRI y la estabilidad térmica.

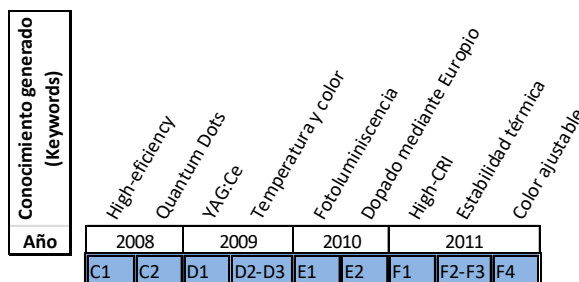


Figura 3. Ruta científica de Leds para iluminación general
 Fuente: Elab. propia, Adaptado de Arroyo-Cortez, 2013

Hoy en día ya se tienen chips *Led* con muchas mejoras y además siguen incursionado las nanotecnologías²⁴ donde destacan los puntos cuánticos [*quantum dots*] (Fig. 3). Al contar con mayor eficiencia y estabilidad térmica se suma positivamente su capacidad de emitir con un alto índice de rendimiento de color (CRI) para lograr mayor conformidad con las curvas de respuesta de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE). Esto ha sido un muy significativo avance pues hasta el año 2011 sólo se tenían focos *Led* eficientes pero que emitían un color de luz fijo y poco apto para la lectura (Ganem y Aranda, 2011). La actualización de esta ruta científica se realizará e integrará en la investigación propuesta.

Finalmente, Los *Leds* son elementos con una gran larga vida útil al tratarse de electrónica de estado sólido, con lo que se puede inferir que en corto tiempo varios de sus problemas técnicos serán mitigado casi por completo y, por lo tanto, es menester dedicar esfuerzos de investigación enfocados a lo externo, referido a al desempeño y su impacto sobre la salud en general^{18,19,20,21, 14,15}, principalmente la visual²⁵, debido a la continua exposición, sea directa o semi-directa como es el caso de los ordenadores y pantallas móviles, o bien, indirectas como en el caso de la iluminación general y dispositivos para purificación de ambientes (*leds* ultravioletas)

Estado de las tecnologías [análisis de patentes]

Para una visión integral del estado de la técnica es necesario incluir el *status quo* de las tecnologías en cuestión. Es así que mediante una *estrategia de búsqueda* de patentes concedidas en la Oficina de Patentes de Marcas de los EUA (USPTO) entre los años 2000 al 2014 sobre tecnologías *LED* y las palabras clave sobre un campo de alto impacto como lo es la *salud visual (visual health)* en todas las *clases y subclases*, resultan tan solo entre **dos a doce** patentes según la inclusión o no de *LED* (USPTO, 2016), sin embargo, ese pequeño conjunto señala temas respecto tratamientos laser para ojos. Con esto se puede inferir que quienes están directamente involucrados en esta área tecnológica están realizando esfuerzos mayoritariamente enfocados en el chip interno como bien serían los fabricantes de *Leds*, transfiriendo los problemas externos de su *desempeño* al usuario final que seleccionará los dispositivos según su percepción²³ y, por lo tanto, se podrían estar generando efectos secundarios no deseables sobre los esfuerzos de frontera si es que con producir excelentes dispositivos tecnológicos se puedan estar *diseminando* consecuencias de salud¹⁰, socio-

ambientales y, a largo plazo, también económicas de mayor escala debido a posibles gastos para la remediación o mitigación de tales efectos secundarios. Por otro lado, es innegable que con estas nuevas tecnologías de iluminación *Led* también comienzan hallazgos muy interesantes en efectos positivos³⁵, por lo que es menester ahondar en el tema para proponer la ruta tecnológica propia.

Marco legal e institucional en México

En México, a partir del año 2014 ya no se deben comercializar los focos incandescentes debido a la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE) mediante su reglamento y en específico en la norma NOM-028-ENER-2010 donde se señala su prohibición gradual entre los años 2011 al 2015.^{31,32}

Cabe mencionar que, las principales instituciones ligadas al sector de iluminación *Led* han sido principalmente la Secretaría de Energía (SENER), el FIDE, la CFE y el sistema de aduanas³³ que derivan en el SIAVI. Sin embargo, son los gobiernos estatales y municipales los que ejecutan acciones de impacto directo e indirecto respecto a la iluminación *Led*, ya que se han implementado en los últimos años tecnologías *Led* del tipo blanco frío en nuevas carreteras y vías rápidas (Nuevos viaductos y segundo piso del periférico de la Ciudad de México), así como en alumbrado público complementario al ya instalado por parte de la CFE, (por ejemplo, en Tlalnepantla de Baz y Centro histórico de la Ciudad de México); también se tienen diversos programas nacionales alineados por el Programa de Inclusión y Alfabetización Digital (PIAD), ya sea por parte de la Secretaría de Educación Pública (SEP) o gobiernos locales, que han contemplado el otorgamiento gratuito de computadoras portátiles y tabletas electrónicas dentro de primarias y secundarias, sea por iniciativa nacional como la SEP o por excelencia académica en algunos Estados, pero para todos los casos, es la población más joven como son niños y adolescentes quienes ya han comenzado el uso intensivo de éstas tecnologías desde 2014 en todo México.

Además del tiempo de exposición en las escuelas y labores escolares en casa, también se debe considerar el uso de dispositivos propios de los padres que prestan o regalan a sus hijos para esparcimiento. Esto indica una mayor exposición a las tecnologías *Led* blanco frío, ya que es la que utiliza para la retro-iluminación de todo tipo de pantallas electrónicas. En todos

los casos, ningún programa ha incluido iniciativas bajo el “principio precautorio” para mitigar el uso intensivo de pantallas electrónicas como en tabletas y computadoras portátiles, un buen ejemplo son las iniciativas de software³⁶ que mitiguen la emisión azul en tabletas y portátiles, pero que en México son mínimamente conocidos.

Consideraciones sociales

Los beneficios del *Led* se vienen estableciendo como la nueva revolución³⁴ en iluminación mundial, pero no se cuestiona tanto el segundo problema expuesto arriba, por lo que será interesante traer en juego otros enfoques como lo hizo Thomas Kuhn en 1963 (La estructura de las revoluciones científicas) que tengan el potencial de revelar el papel de los estudios sociales en ciencia y tecnología en el arquetipo *Led* en México con lo cual se tenga una herramienta interesante para esclarecer el panorama de la problemática y ofrecer un ecosistema de resultados bajo el enfoque social y no solo de la ciencia y tecnología desde sus centros de producción de conocimiento y artefactos. Por tanto, el análisis de inteligencia-tecnológica-competitiva deberá complementarse mediante la revisión de toda la cadena de valor de los Ledes para iluminación, para que la industria refleje su *estatus quo* y el de los trabajadores involucrados, por lo cual, la perspectiva de las normas tales como la SA8000 sobre la responsabilidad social empresarial (RSE)⁴³ serán clave para éste análisis.

En prospectiva, el reto será equilibrar los resultados de ciencia y tecnología que le cueste poco al país visto como uso de estas tecnologías en el largo plazo, fructificar los esfuerzos que ya se hicieron en el extranjero^{26, 27, 28, 29, 30} y aprovechar la masa crítica social y de divulgación para identificar actores, de traducción tecnológica y estrategias de planeación, así como la consideración del beneficio social a largo plazo como eje rector.

Problema

El uso intensivo de las tecnologías de iluminación basadas en *Leds* va en incremento, y, la información disponible se encuentra en su fase emergente, por lo que, el conocer los efectos directos e indirectos sobre la salud en general que parten del sistema visual requieren de un análisis a profundidad, con lo cual aún no es posible contar con un fundamento de información lista para la toma de decisiones en aspectos regulatorios, de políticas públicas y prevención (salud y seguridad).

Objetivo

Se pretende contribuir al conocimiento con un análisis integral científico-tecnológico y la construcción de un índice de riesgo para la salud debido a iluminación *led*; esto representará una fuente de información original para el beneficio social con base en las incidencias más significativas que tienen dichos dispositivos sobre la vida cotidiana en México. De igual forma, esta fuente será útil para los hacedores de políticas públicas y normalización de tales tecnologías en México y otros países.

Justificación

Dado que, en México ya no se deben comercializar los focos incandescentes debido a la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE), su reglamento y la NOM-028-ENER-2010 que señalan la prohibición gradual hasta 2015. Por otro lado, tampoco se fabrican *Leds* de tecnología nacional para iluminación general que generen beneficios para nuestra sociedad y, además, los pocos que se desarrollan se implementan para uso interno por bloqueos de propiedad industrial y en la mayoría de los casos el desarrollo no ha pasado de prototipos dentro de laboratorios de investigación de electrónica de estado sólido (EES). Por lo tanto, esto no han significado un reto en la visión paradigmática de éste campo de conocimiento en México, pues los beneficios del *Led* se vienen estableciendo como la nueva revolución en iluminación internacional. Sin embargo, se acentúa el riesgo de innovaciones ambiguas si se desconocen los impactos reales (a corto, mediano y largo plazo) con el uso intensivo de tales dispositivos de iluminación y retroiluminación con *ledes*, con lo cual, la salud que parte del sistema visual y otro tipo de alteraciones en el bienestar general del cuerpo humano deben ser analizadas a profundidad.

Hipótesis

La adopción masiva de la tecnología de iluminación Led puede tener impactos adversos en algunos sectores de la población, lo cual puede ser amplificado por laxidad del marco normativo-y-política pública sectorial.

Dado que existe literatura científica emergente y creciente sobre los riesgos [a la salud] por el uso de ledes en dispositivos de iluminación: Esta información tendrá lenta recepción entre los agentes que promueven la industria en México. Por tanto, un análisis que caracterice e indique el riesgo de la iluminación Led en torno al impacto general en salud desde el análisis científico-tecnológico-social dará certeza para la toma de decisiones en México.

Propuesta de Método

Colaboración transdisciplinaria entre diversos departamentos del CINVESTAV y otros centros de investigación que enriquezcan la búsqueda y análisis de información pertinente sobre iluminación led y salud disponible (con base en la inteligencia tecnológica competitiva) para la creación de nuevo conocimiento e índice de riesgo, que serán insumos para la toma de decisiones para la salud en México.

Esquema de acopio

Capítulo 1. Estado de la técnica

Acopio y revisión de información

Capítulo 2. Documentación transdisciplinaria

Integración y análisis de información pertinente al tema

Capítulo 3. Discusión de resultados

Propuesta del índice de riesgo Led

Conclusiones generales

Bibliografía inicial

1. IEEE, 1980. IRE Standards on Solid-State Devices: Definitions of Semiconductor Terms, 1960. (Reaffirmed 1980). IEEE Std 216-1960, p. 4
2. Edison Tech center, 2013. LEDS and OLEDs. Disponible en <http://www.edisontechcenter.org/LED.html>
3. Nichia, 2015. The history of Nichia Corporation & Subsidiaries. [En línea]. Disponible en: http://www.nichia.co.jp/es/about_nichia/history.html
4. Osram, 2015. The Osram S32 multi-chip LED will be presented at the Prolight + Sound 2015 for the first time. [En línea]. Disponible en: <http://cpln.es/pej>
5. Arroyo-Cortez, Rigoberto, 2013. Gestión del cambio tecnológico de iluminación doméstica en México. Tesis de investigación que para obtener el grado en maestro en Política y gestión del cambio tecnológico. CIECAS-IPN, México D.F. p. 172
6. Padilla-Rosales, I., Martínez-Martínez, R., Cabañas, G., Falcony, C. The effect of Bi³⁺ and Li⁺ co-doping on the luminescence characteristics of Eu³⁺-doped aluminum oxide films (2015) *Journal of Luminescence*, 165, pp. 185-189. DOI: 10.1016/j.jlumin.2015.04.039
7. CSD-N, 2014. “Brief definitions” en Circadian Sleep Disorders Network. Última modificación en Oct 29, 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.circadiansleepdisorders.org/defs.php#brief>
8. Pousset, Nicolas, 2009. Caracterisation du rendu des couleurs des nouvelles sources: les diodes électroluminescentes. Conservatoire National des Arts et Métiers, France, p. 201
9. Ganem, E. y Aranda, M. Á., 2011-2015. El explicador. Transmisión de radio. Varias emisiones de 2011-2015. México, D.F.: s.n.
10. IEA-4E, 2014. Solid State Lighting Annex – Potential Health Issues of Solid State Lighting Final Report. International Energy Agency 4E Solid State Lighting Annex Task 1, Septiembre, 2014, p. 65
11. Laborie, S., 2010. Effets de la lumière vive et de la mélatonine sur les fonctions cognitives et non cognitives. Springer-Verlag France, p. 5
12. Boivin, Diane B., Duffy, Jeanne F.; Kronauer, Richard E. ; Czeisler, Charles A.; 1996. Dose-response relationships for resetting of human circadian clock by light. *Nature Publishing Group*, p. 3
13. Takasu, Nana N.; Toichi, Motomi; Nakamura, Wataru; 2011. Importance of regular lifestyle with daytime bright light exposure on circadian rhythm sleep–wake disorders in pervasive developmental disorders. *Japanese Dental Science Review*, p.9
14. Song D., Song J., Wang C., Li Y., Dunaief J.L.; 2016. Berberine protects against light-induced photoreceptor degeneration in the mouse retina. *Experimental Eye Research*, vol. 145, p. 9.
15. Kubota S., Kurihara T., Ebinuma M., Kubota M., Yuki K., Sasaki M., Noda K., Ozawa Y., Oike Y., Ishida S., Tsubota K.; 2010. Resveratrol prevents light-induced retinal degeneration via suppressing activator protein-1 activation. *American Journal of Pathology*, vol. 177, p. 7
16. NIH; 2015. “Berberine” en U.S. National Library of Medicine. Última modificación en Sept 6, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://medlineplus.gov/druginfo/natural/1126.html>
17. NIH; 2015. “Resveratrol” en U.S. National Library of Medicine. Última modificación en Sept 6, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/druginfo/natural/307.html>
18. Stamatacos C., Harrison J.L., 2013. The possible ocular hazards of LED dental illumination applications. *The Journal of the Tennessee Dental Association*, vol. 93, p.5
19. Davari A., Yassaei S., Karandish M., Zarghami F.; 2012. In vitro evaluation of microleakage under ceramic and metal brackets bonded with LED and plasma Arc curing. *Journal of Contemporary Dental Practice*, vol. 13, p. 6

20. Kölbl P.S., Lindner C., Lingenfelder C., Deuchler S., Singh P., Koch F., Hessling M.; 2015. An extraocular non-invasive transscleral LED-endoilluminator for eye speculum integration. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, vol. 253, p. 6
21. Hessling M., Koelbl P.S., Lingenfelder C., Koch F. ; 2015. Miniature LED endoilluminators for vitreoretinal surgery. *Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE*, vol. 9542, art. no. 95421A. DOI: 10.1117/12.2197603
22. Falchi F., Cinzano P., Elvidge Ch. D.; Keith D. M., Haim A.; 2011. Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental Management*, vol. 92, Issue 10, 2011, p. 2714-2722.
23. Ohno, Y., 2005. Spectral design considerations for white LED. *Optical Engineering* 44(11), 111302, p. 9
24. Chung W., Jung H., Lee C.H., Park S.H., Kim J., Kim S.H.; 2011. Synthesis and application of non-toxic ZnCuInS₂ZnS nanocrystals for white LED by hybridization with conjugated polymer. *Journal of the Electrochemical Society*, vo. 158, p.3
25. Žukauskas A., Vaicekaskas R., Vitta P., 2012. Optimization of solid-state lamps for photobiologically friendly mesopic lighting. *Applied Optics*, vol.51, p.10
26. CE; 2010. Europa 2020. Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. Comunicado del 3 de marzo de 2010 de la Comisión Europea, Bruselas, p. 40
27. Lightdirectory; 2008. “Cree and Zumtobel Announce Strategic Agreement for LED Downlights in Europe” en *Industry news*. Publicado el 8 de Octubre, 2008. [En línea]. Disponible en: <http://cpln.es/peh>
28. A2A, 2015. La nuova illuminazione a Led di Milano e di Brescia. [En línea]. Disponible en: <http://illuminiamo.a2a.eu/ldl/cms/ill/>
29. NASA/ESA, 2012. Milan from the International Space Station (ISS) in 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.iau.org/public/images/detail/iau1510b/>
30. NASA/ESA, 2015. Milan from the International Space Station (ISS) in 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.iau.org/public/images/detail/iau1510a/>
31. Arroyo R., Jiménez R.V.; 2014. Tecnología LED para un Programa Mejorado de Luz Sustentable. *Mundo Siglo XXI*, revista del CIECAS-IPN, ISSN 1870-2872, Núm. 33, Vol. IX, 2014, México D.F., pp. 71-80
32. FIDE; 2015. “Ahórrate una Luz” en *Eficiencia Energética*. Revista del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica. Año 1, Numero 5, Enero-Marzo 2015. ISSN 2007-7505. pp. 5-8
33. CAAAREM, 2011. “CASOS PARTICULARES DE CLASIFICACION DE CAAAREM EN EL SA 2012: Clasificación de Lámparas LED” en Seminario 2012 de la Confederación de Asociaciones de Agentes Aduanales de la República Mexicana. Organización Mundial de Aduanas, Diciembre 2011, Bilbao, España, p. 45 (dispositivas).
34. Pérez, Carlota, 2001. Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil. *Cepal*; 75: p. 115-136
35. Dolara A., Leva, S.; 2012. Power quality and harmonic analysis of end user's devices. *Energies*; p. 13
36. f.lux Software LLC 2008-2016. [en línea] Disponible en: <https://justgetflux.com/>

Otras referencias:

37. CIE, 2012. The International Commission on Illumination. [En línea]. Disponible en: <http://eiv.cie.co.at/>
38. Faranda, R., Guzzetti, S. y Leva, S., 2010. “La virtuosa applicazione dei led Nel settore dell'illuminazione” en *L'Impianto Elettrico & Domotico*, Italy, pp. 44 - 49.

39. Lara Zavala, Nydia, 2011. *Ciencia tecnología y sociedad* en Taller de Propiedad intelectual y transferencia de tecnología: [Diapositivas]. II-UNAM. Octubre de 2011.
40. NOM-028-ENER-2010, 2010. Norma Oficial Mexicana, Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba. México D.F.: D.O.F., p. 18
41. Zhou, X., Shao, Z. and Xu, J., 2014. The impacts of different wave range LED on non-visual effects. *Journal of Shenzhen University Science and Engineering*, 31(4), p.5
42. Programa de Inclusión y Alfabetización Digital. 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.gob.mx/mexicodigital/articulos/programa-de-inclusion-y-alfabetizacion-digital-piad> [última modificación en 06/10/2015] Ultimo acceso en 20 Octubre, 2016.
43. Maggiolini, P., 2012. *Ciò che è bene per la società è bene per l'impresa. Una rivisitazione di teorie e prassi della Responsabilità Sociale d'Impresa*. Milano: FrancoAngeli
44. Fullerton, Jason, 2009. *Lead Free Manufacturing (Training)*. Empfasis Technical Editor. Electronics Manufacturing Center of Excellence. Philadelphia, PA. Disponible en <http://cpln.es/ols>
45. Winner, Langdon, 1983. *Do Artifacts Have Politics?*, en: D. MacKenzie et al. (eds.), *The Social Shaping of Technology*, Philadelphia: Open University Press, 1985.