



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



TESIS DOCTORAL

EVOLUCIÓN URBANA SOSTENIBLE A TRAVÉS DE LAS INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN

**SUSTAINABLE URBAN EVOLUTION THROUGH
LIGHTING INSTALLATIONS**

**Programa de Doctorado en Ingeniería Mecánica y
Eficiencia Energética**

Escuela de Ingenierías Industriales

Universidad de Málaga

Autor: D. Rami David Orejón Sánchez

Director: Dr. D. Alfonso Gago Calderón

Tutor: Dr. D. José Ramón Andrés Díaz

Málaga, junio de 2022

UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA





UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

AUTOR: Rami David Orejón Sánchez

 <https://orcid.org/0000-0001-8533-0065>

EDITA: Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización pero con el reconocimiento y atribución de los autores.

No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Esta Tesis Doctoral está depositada en el Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA): riuma.uma.es

Esta hoja se ha dejado intencionadamente en blanco

Esta hoja se ha dejado intencionadamente en blanco



“Los científicos de hoy piensan en profundizar y no en esclarecer. Uno debe ser sensato para pensar con claridad, pero uno puede pensar con profundidad aun siendo un demente.”

Nikola Tesla

Esta hoja se ha dejado intencionadamente en blanco



EVOLUCIÓN URBANA SOSTENIBLE A TRAVÉS DE LAS INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN

Yo, Dr. D. Alfonso Gago Calderón, con DNI 74827179Z, Profesor Contratado Doctor de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Málaga, en el Dpto. Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos, Área: Proyectos de Ingeniería, actuando en calidad de Director de la Tesis:

Declaro que:

El trabajo presentado por D. Rami David Orejón Sánchez, con título EVOLUCIÓN URBANA SOSTENIBLE A TRAVÉS DE LAS INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN, se ha realizado, dentro del Área de Conocimiento de Proyectos de Ingeniería, como compendio de publicaciones que no han sido utilizadas en ninguna tesis anterior.

Revisado el presente trabajo, considero que puede ser presentado al Tribunal que ha de evaluarlo y, para que conste a efectos de lo establecido en el artículo decimotercero del Real Decreto 99/2011, autorizo la presentación de este trabajo en la Universidad de Málaga.

En Málaga a 22 de junio de 2022.

Dr. D. Alfonso Gago Calderón



Esta hoja se ha dejado intencionadamente en blanco





UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Escuela de Doctorado

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR

D. RAMI DAVID OREJÓN SÁNCHEZ

Estudiante del programa de doctorado INGENIERÍA MECÁNICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA de la Universidad de Málaga, autor/a de la tesis, presentada para la obtención del título de doctor por la Universidad de Málaga, titulada: EVOLUCIÓN URBANA SOSTENIBLE A TRAVÉS DE LAS INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN.

Realizada bajo la tutorización de JOSÉ RAMÓN DE ANDRÉS DÍAZ y dirección de ALFONSO GAGO CALDERÓN.

DECLARO QUE:

La tesis presentada es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, conforme al ordenamiento jurídico vigente (Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo.

Igualmente asumo, ante a la Universidad de Málaga y ante cualquier otra instancia, la responsabilidad que pudiera derivarse en caso de plagio de contenidos en la tesis presentada, conforme al ordenamiento jurídico vigente.

En Málaga, a 22 de junio de 2022

Fdo.: RAMI DAVID OREJÓN SÁNCHEZ Doctorando	Fdo.: JOSÉ RAMÓN DE ANDRÉS DÍAZ Tutor de tesis
Fdo.: ALFONSO GAGO CALDERÓN Director de tesis	



EFQM AENOR



Edificio Pabellón de Gobierno. Campus El Ejido.
29071
Tel.: 952 13 10 28 / 952 13 14 61 / 952 13 71 10
E-mail: doctorado@uma.es

Esta hoja se ha dejado intencionadamente en blanco



TESIS DOCTORAL POR COMPENDIO DE PUBLICACIONES

En cumplimiento con los requisitos especificados en el Reglamento de Doctorado de la Universidad de Málaga, en su revisión vigente a fecha de la presentación de esta memoria, la presente Tesis Doctoral ha sido autorizada por los Directores de Tesis y el Órgano Responsable del Programa de Doctorado para ser presentada en el formato de “compendio de publicaciones”.

Las referencias de los 3 artículos en los que el doctorando figura como primer o segundo autor y que avalan la presente Tesis Doctoral se detallan a continuación de acuerdo con su orden cronológico de publicación junto con los datos de impacto de las revistas donde se han publicado:

- **LED Lighting Installations in Professional Stadiums: Energy Efficiency, Visual Comfort, and Requirements of 4K TV Broadcast.**
Orejón-Sánchez, R.D.; Hermoso-Orzáez, M.J.; Gago-Calderón, A.
Sustainability 2020, 12, 7684. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12187684>
Índice de Impacto: 3,251 (2020)
Fuente de Impacto: WOS (JCR): Q2 (124/274 – SCIE Environmental sciences) (2020)
Puntuación de acuerdo con los criterios de valoración de la ANECA: 0,75 puntos.
- **Autonomous Photovoltaic-LED urban street lighting: social, technical and economic viability analysis based on a case-of-study**
Orejón-Sánchez, R.D.; Andrés-Díaz, J.R.; Gago-Calderón, A.
Sustainability 2021, 12, 7684. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132111746>
Índice de Impacto: 3,251 (2020)
Fuente de Impacto: WOS (JCR): Q2 (124/274 – SCIE Environmental sciences) (2020)
Puntuación de acuerdo con los criterios de valoración de la ANECA: 0,75 puntos.
- **Smart cities’ development in Spain: comparison of technical and social indicators with reference to European cities.**
Orejón-Sánchez, R.D., Crespo-García, D., Andrés-Díaz, J.R. & Gago-Calderón, A.
Sustainable Cities and Society. (2022), 103828.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103828>
Índice de Impacto: 7,587 (2020)
Fuente de Impacto: WOS (JCR): Q1/D1 (4/67 – SCIE Construction & Building Technology) (2020)
Puntuación de acuerdo con los criterios de valoración de la ANECA: 1 puntos.

La **suma de las puntuaciones** de estas publicaciones es de **2,5 puntos** según los criterios utilizados por la ANECA, por lo tanto, se cumple con los requisitos exigidos por la Universidad de Málaga para la presentación de Tesis doctorales por Compendio de

Publicaciones, que establece que: “La suma de las puntuaciones de estas publicaciones ha de **ser igual o superior a 1 punto** según los criterios utilizados por la ANECA o los elaborados por las diferentes comisiones académicas de doctorado, siempre en cumplimiento con los criterios de la ANECA”



Agradecimientos

Quisiera agradecer a todas las personas que han contribuido a que mi etapa de estudiante de doctorado concluyera con la redacción de esta memoria.

En primer lugar, quiero dar las gracias de manera muy especial a los doctores Alfonso Gago Calderón y José Ramón Andrés Díaz, director y tutor respectivamente, por su ayuda, dedicación, por su inestimable orientación durante los últimos años, por su paciencia, su confianza y su estímulo para que esta memoria viera por fin la luz.

A mi familia, por su esfuerzo durante mis años de universidad, máster y doctorado, por su apoyo y su interés en que hoy consten en esta memoria mi nombre y sus apellidos.

Especialmente agradecido a Noelia, mi mujer, mi compañera durante éste y otros caminos de mi vida, por su paciencia, por sus consejos, por escucharme, soportarme y, sobre todo, por estar siempre ahí.



Esta hoja se ha dejado intencionadamente en blanco



Índice

Glosario	3
Índice de ilustraciones	5
Índice de tablas	6
I. Antecedentes e hipótesis	7
II. Objeto y estructura de la tesis	16
III. Resumen de las contribuciones	20
3.1. Artículo 1	20
3.1.1. Identificación del artículo.....	20
3.1.2. Indicios de calidad.....	20
3.1.3. Resumen del artículo	20
3.1.4. Referencia bibliográfica publicación 1.....	26
3.2. Artículo 2	27
3.2.1. Identificación del artículo.....	27
3.2.2. Indicios de calidad.....	27
3.2.3. Resumen del artículo	27
3.2.4. Referencia bibliográfica publicación 2.....	32
3.3. Artículo 3	33
3.3.1. Identificación del artículo.....	33
3.3.2. Indicios de calidad.....	33
3.3.3. Resumen del artículo	33
3.3.4. Referencia bibliográfica publicación 3.....	37
IV. Otros méritos relacionados con la investigación	39
4.1. Patente nacional en explotación	39
4.1.1. Identificación de la patente.....	39
4.1.2. Resumen de la patente	39
4.2. Capítulo de libro 1	40
4.2.1. Identificación del capítulo	40
4.2.2. Indicios de calidad.....	40
4.2.3. Resumen del capítulo	40
4.3. Capítulo de libro 2.....	41
4.3.1. Identificación del capítulo	41
4.3.2. Indicios de calidad.....	41

4.3.3.	Resumen del capítulo	41
4.4.	Artículo de revista	42
4.4.1.	Identificación del artículo.....	42
4.4.2.	Indicios de calidad.....	42
4.4.3.	Resumen del artículo	42
4.5.	Comunicación científica de congreso 1.....	43
4.5.1.	Identificación de la comunicación.....	43
4.5.2.	Indicios de calidad.....	43
4.5.3.	Resumen de la comunicación:	43
V.	Conclusiones	45
VI.	Líneas de investigación futuras	51
	Bibliografía	53

Glosario

<i>Acrónimo</i>	<i>Significado en inglés</i>	<i>Significado en español</i>
<i>5G</i>	5th Generation Mobile Communications Standard	<i>5ª generación del estándar de comunicaciones móviles</i>
<i>API</i>	Application Program Interface	<i>Interfaz programa de aplicación</i>
<i>BI</i>	Business Intelligence	<i>Inteligencia de negocio</i>
<i>BIoT</i>	Building Internet of Things	<i>Internet de las Cosas para Edificios</i>
<i>BMS</i>	Building Management System	<i>Sistema de Gestión de Edificios</i>
<i>CPU</i>	Central Processing Unit	<i>Unidad central de procesamiento</i>
<i>CRM</i>	Customer Relationship Management	<i>Gestión de las relaciones con clientes</i>
<i>DOI</i>	Digital Object Identifier	<i>Identificador de objeto digital (Artículos)</i>
<i>GPU</i>	Graphical Processing Unit	<i>Unidad de procesamiento gráfico</i>
<i>IA</i>	Artificial Intelligence (AI)	<i>Inteligencia Artificial</i>
<i>IaaS</i>	Infrastructure as a Service	<i>Infraestructura como servicio</i>
<i>IEA</i>	International Energy Association	<i>Asociación Internacional de la Energía</i>
<i>IEC</i>	International Electrotechnical Commission	<i>Comisión Internacional de Electrotecnia</i>
<i>IEEE</i>	Institute of Electrical and Electronics Engineers	<i>Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica</i>
<i>IoT</i>	Internet of Things	<i>Internet de las Cosas</i>
<i>ISDN</i>	Integrated Services Digital Network	<i>Red digital de servicios integrados</i>
<i>ISSN</i>	International Standard Serial Number	<i>Número Serie Estándar Internacional (Publicación)</i>
<i>JCR</i>	Journal Citation Report (Clarivate Analytics)	<i>Informe de Citas a Artículos Científicos</i>

<i>Acrónimo</i>	<i>Significado en inglés</i>	<i>Significado en español</i>
<i>KNX</i>	ISO/IEC 14543, OSI-based Protocol	<i>Protocolo de comunicaciones OSI,</i>
<i>LAN</i>	Local Area Network	<i>Red de área local</i>
<i>LED</i>	Light-emitting Diode	<i>Diodo emisor de luz</i>
<i>PaaS</i>	Platform as a Service	<i>Plataforma como Servicio - Desarrollo</i>
<i>PC</i>	Personal Computer	<i>Ordenador personal</i>
<i>PIB</i>	GDP, Gross Domestic Product	<i>Producto Interior Bruto</i>
<i>SaaS</i>	Software as a Service	<i>Software como servicio</i>
<i>SJR</i>	SCimago Journal Rank	<i>Ranking de Publicaciones Científicas (SCimago)</i>
<i>TIC</i>	Information Technologies (IT)	<i>Tecnologías de la Información y las Comunicaciones</i>
<i>KPI</i>	Key Performance Indicator	<i>Indicador Clave de Actuación.</i>
<i>ZigBee</i>	IEEE 802.15.4 Specification	<i>Especificación IEEE 802.15.4</i>
<i>VEEI</i>	Value of Energy Efficiency in Facilities	<i>Valor de Eficiencia Energética en las Instalaciones</i>

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Campo de fútbol Municipal Ladislao Rodríguez Bonilla, Las Palmas, España....	23
Ilustración 2: Simulación lumínica en DIALux y resultados del estudio lumínico del estadio Nuevo Los Cármenes, Granada CF	24
Ilustración 3: Resultados del estudio luminotécnico del Estadio Benito Villamarín.	25
Ilustración 4: Resultados del estudio lumínico del Ramón Sánchez Pizjuán.	25
Ilustración 5: Resumen de resultados de la encuesta de valoración de la aceptación social del alumbrado solar fotovoltaico en entornos urbanos (Fuente: Elaboración propia).....	29
Ilustración 6: Hilo argumental de las contribuciones de la tesis	49

Índice de tablas

Tabla 1: Requisitos lumínicos para competiciones de fútbol (FIFA, 2011; LaLiga, 2016c; Premier League, 2018; UEFA, 2016).....	21
---	----

I. Antecedentes e hipótesis

Antecedentes

La industria está impulsando una evolución tecnológica hacia la alternativa de los sistemas digitales. Este proceso se ha observado en las cámaras de fotografía, televisores, vehículos, teléfonos y, en la última década, en equipos de iluminación para todos los propósitos con la introducción de la tecnología LED como fuente de luz. La iluminación es un fenómeno que, por cotidiano, pasa de manera inadvertida para la mayoría de las personas. Sin embargo, es difícil concebir nuestro día a día y nuestra sociedad sin la iluminación artificial. Se entiende como un elemento fundamental, supuesto y garantizado, y tiene un peso primordial en muchos parámetros que miden el estado y el modo de funcionamiento de la economía de un país o región, de su modelo energético e, incluso, del estado de bienestar de sus habitantes (Gago-Calderón, 2011).

Los diferentes actores implicados en el diseño y planificación de las ciudades modernas buscan aplicar las nuevas tecnologías en estas estructuras sociales complejas para lograr un desarrollo económico sostenible, mejorar el acceso a servicios simples y de mayor complejidad relacionados con la habitabilidad y, en definitiva, mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos y visitantes. Uno de los puntos fundamentales en el desarrollo de nuevas estructuras y paradigmas que deben conducir hacia una ciudad sostenible e inteligente es la mejora de la eficiencia energética de sus instalaciones. En esta dimensión la iluminación juega un papel determinante. Desde el punto de vista de la gobernanza local, el alumbrado público supone una parte muy importante del presupuesto de las ciudades. Así, administraciones locales de pequeño y mediano tamaño llegan a destinar hasta el 80% de su partida presupuestaria destinada a suministros para este fin. (Gutierrez-Escolar et al, 2015). Este consumo está directamente relacionado con la tecnología de emisión de luz existente; en este sentido, tras la irrupción de la tecnología LED en este sector tecnológico, se ha destinado una importante cantidad de recursos económicos en su modernización para su adaptación al nuevo modelo de iluminación. Además, cabe mencionar que este consumo puede verse afectado por factores como el mantenimiento, la regulación y el telecontrol o telegestión de estas instalaciones (Orejón-Sánchez, Hermoso-Orzáez & Gago-Calderón, 2020).

Sobre esta realidad, en este trabajo se ha pretendido poner en valor la relevancia de las infraestructuras de iluminación en el desarrollo de las ciudades, y cómo estas juegan un papel fundamental en el desarrollo del concepto de una *smart city*. En virtud de que las instalaciones de iluminación se encuentran repartidas de forma homogénea lo largo de toda la extensión de cualquier zona urbana, condicionan el desarrollo de sus calles y arterias de comunicación y representan elementos singulares de la misma que, en ciertos casos, constituyen puntos neurálgicos o representativos de una ciudad (Almuraqab, 2021).

Hipótesis

La Hipótesis se formula en los siguientes términos:

El consumo energético de las ciudades presenta patrones sostenidos crecientes y los mecanismos actuales de generación de esta energía producen, mayoritariamente, un impacto negativo en el medioambiente. El diseño adecuado y actualizado de las instalaciones de alumbrado, especialmente las de más consumo y prestaciones, puede reducir en gran medida su consumo energético o contribuir en la auto generación de estos recursos energéticos de manera limpia y sostenible, a la vez que se pueden convertir en elementos vertebradores de la ciudad, actuando como nodos y puntos de conexión de un sistema integrado de Smart City.

De este modo, se van a analizar las instalaciones de alumbrado clasificadas como grandes consumidoras de electricidad, donde mejoras en el diseño llevan asociadas grandes ahorros energéticos, se va a valorar la viabilidad técnica y económica de integración de los generadores de energía solar u otras renovables en las instalaciones de alumbrado y se va a detallar como las instalaciones de alumbrado pueden constituir un elemento de despliegue en el diseño y planificación de las ciudades inteligentes y se valorará su uso para esta función hasta estos momentos en los principales paradigmas y ejemplos de ciudades inteligentes.

A continuación, se explican el contexto particular de las diferentes dimensiones en cuestión en las hipótesis planteadas, justificando su necesidad y estableciendo un contexto y unos antecedentes de la investigación realizada.

Ciudades inteligentes

Hoy en día, con el crecimiento demográfico y el movimiento migratorio hacia las urbes, la necesidad de infraestructuras urbanas es cada vez más ostensible. Las infraestructuras urbanas son esenciales para permitir que las ciudades sean más eficientes y tienen efectos innegables en la productividad, la economía y la seguridad de las ciudades (Deepika & Gokulraj, 2021). Lo que ahora se denomina ciudad inteligente ha sido impulsada por la implementación de tecnologías digitales en diferentes aspectos de la gestión urbana y está considerada como uno de los pilares de la Industria 4.0 (Xu & Geng, 2019; Soomro et al, 2021; Nick & Pongracz, 2016).

Una ciudad inteligente representa una ciudad que examina e integra sus infraestructuras críticas, incluidas carreteras, puentes, túneles, trenes, metros, aeropuertos, puertos marítimos, comunicaciones, agua y energía, puede optimizar mejor sus recursos, planificar sus actividades de mantenimiento preventivo y monitorizar los aspectos de seguridad, mientras maximiza los servicios a sus ciudadanos (Almuraqab, 2021). Es una ciudad que está conectada digitalmente y proporciona a sus ciudadanos servicios y

contenidos a través de la red, utilizando la infraestructura de ciudad inteligente basada en Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) (Kim, 2022). Su objetivo principal es mejorar la vida de sus residentes, una gestión de la ciudad más eficiente y un sistema de información urbana más integrado (Al Sharif & Pokharel, 2021). La construcción de ciudades inteligentes incluye aspectos como la gobernanza, plataformas de gestión integradas, planificación urbana, proyección internacional, innovación en desarrollo software, movilidad, TICs, medioambiente, capital humano y cohesión social (Orejón-Sánchez et al, 2022).

El concepto de *Smart Cities* es una tendencia cada vez más común en los proyectos tecnológicos. Uno de los objetivos de los sistemas desarrollados bajo el concepto de *Smart Cities* es aplicar nuevas tecnologías para obtener un desarrollo económico sostenible y brindar una mejor calidad de vida a los ciudadanos (De Paz, 2016). El concepto se introdujo en 1994 (Dameri & Cocchia, 2013) y desde 2010, tras la aparición de los primeros proyectos de *Smart Cities*, el número de publicaciones, normativas e informes sobre el tema ha aumentado significativamente (Desdemoustier et al., 2019). En este sentido, Fernandez-Anez (2016) presentó su investigación sobre la terminología de *Smart City*, que consistió en el análisis de 32 definiciones diferentes. Una parte de la literatura sobre ciudades inteligentes se centra principalmente en los aspectos técnicos y ambientales de una ciudad (Kitchin, 2014; Lombardi et al., 2011; Su et al., 2011). Sin embargo, otra parte de la literatura destaca el papel del capital humano en el desarrollo de ciudades inteligentes con una mejor sostenibilidad económica, social y ambiental (Camero & Alba, 2019; Nam & Pardo, 2011; Neirotti et al., 2014). Esta comprensión holística sugiere que las ciudades inteligentes unen tecnología, gobierno y sociedad para permitir una economía inteligente, movilidad inteligente, entorno inteligente, personas inteligentes, vida y gobernanza inteligentes (Ruhlandt, 2018; Su et al. 2011). La UE define el concepto de ciudades inteligentes como la utilización de “*soluciones escalables que aprovechan las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) para aumentar la eficiencia, reducir los costos y mejorar la calidad de vida*” (UNEP, 2013). A continuación, se presenta una revisión de la literatura desde el año 2000 sobre cómo se define una "ciudad inteligente" en intervalos de 5 años:

- 2000-2005: El concepto inicial de una ciudad inteligente comenzó con la “ciudad ubicua”. Se fundamenta en el concepto de resolver problemas urbanos en cualquier momento y en cualquier lugar aprovechando las TIC (Katagiri et al., 2004). Esto implica que las TIC se sugirieron como un método para resolver problemas urbanos (Galloway, 2003; Katagiri et al., 2004; Hall et al, 2000).
- 2006-2010: El concepto de ciudad ubicua se desarrolló gradualmente hasta convertirse en el concepto de ciudad inteligente (Lee et al., 2008). Si bien la ciudad ubicua solo aprovechó las TIC para resolver problemas urbanos, las ciudades inteligentes comenzaron a adaptar las TIC a los problemas de los ciudadanos (Kim et al., 2009). En esta etapa, una ciudad inteligente se definió como un servicio que recopila información sobre las principales funciones de la ciudad, como administración, transporte, bienestar, medio ambiente y prevención

de desastres y, a su vez, recopilaba información que vinculaba a las personas. Con base en esta información, se construyó una ciudad inteligente a gran escala (Kim et al., 2009; Kwon et al., 2007). Por lo tanto, fue durante este período cuando se introdujo la infraestructura de TIC a gran escala (Jang & Suh, 2010; Kim, 2010; Lee, 2008).

- 2011-2015: Esta fue la primera etapa en la que se construyeron y operaron los servicios de la ciudad inteligente. Para introducir servicios de ciudad inteligente, los problemas urbanos deben definirse antes de que puedan resolverse. Con este propósito, se introdujeron servicios de ciudad inteligente a modo de prueba en áreas urbanas designadas (Lee & Lee, 2014; Leem et al., 2019). La revisión bibliográfica entre 2011 y 2015 mostró que se construyó infraestructura de servicios de ciudad inteligente, pero no se pudo verificar la viabilidad de las actuaciones llevadas a cabo hasta adentrarnos en el siguiente periodo.
- 2016-2020: TIC aplicadas a áreas urbanas enteras y la ciudad enfocada a solucionar problemas urbanos (Camero & Alba, 2019; Anthopoulos, 2017). Por ejemplo, en Corea del Sur, más de 300 proyectos piloto de ciudad inteligente que se implantaron en la etapa anterior, se reclasificaron como 56 servicios de ciudad inteligente que eran viables y de uso frecuente por parte de los residentes urbanos (Ministry of Land I. & T, 2019). En Estados Unidos, a través del proyecto *smart city challenge*, se definieron con anticipación los problemas urbanos y se sugirió un plan para construir servicios de ciudad inteligente para resolver estos problemas (Ministry of Urban Development, 2016). Esto implica que la tecnología de las ciudades inteligentes ha pasado de brindar servicios a resolver problemas reales que los residentes de la ciudad necesitan para investigar de manera proactiva los desafíos urbanos.
- 2020 - Actualidad: desde 2020, se proponen servicios de ciudades inteligentes que responden a las amenazas urbanas emergentes y se fusionan los servicios de ciudades inteligentes existentes. Esencialmente, la eficiencia se maximiza al proporcionar servicios de ciudad inteligente flexibles que se pueden agregar o quitar fácilmente según sea necesario (Anttiroiko et al., 2014). Un ejemplo de un servicio de ciudad inteligente flexible es la respuesta ante la amenaza del COVID-19 (Sonn et al., 2020). En particular, en el caso de Corea del Sur, se logró identificar las rutas tomadas por pacientes identificados con COVID-19 al combinar la seguridad servicio que utiliza CCTV instalados en toda la ciudad y la información de la tarjeta de crédito de los pacientes. Este servicio permitió la monitorización del movimiento de seguimiento de pacientes con COVID-19 en menos de 10 minutos (Halegoua, 2020; Park & Chung, 2020). Anteriormente, tal seguimiento debía realizarse manualmente, lo que demoraba aproximadamente un día (Park & Chung, 2020).

Continuando en la etapa más reciente, adquiere especial relevancia el concepto de gobernanza inteligente; donde la administración pública tiene como objetivo mejorar el intercambio de información entre el gobierno y la comunidad. Sin embargo, implementar un gobierno inteligente requiere que sus ciudadanos comprendan y acepten estos servicios

para lograr el plan previsto de la iniciativa gubernamental (Kaliannan et al, 2007; Nichol et al, 2020). Esta comunicación entre la administración y la ciudadanía tiene especial relevancia en el panorama actual de la pandemia de COVID-19, pues el enfoque de los gobiernos ha dado un giro radical en virtud de que la pandemia ha tenido un gran impacto en el desarrollo y funcionamiento de las ciudades de todo el mundo y en la vida cotidiana de las personas (Adhikari et al, 2020; Bao & Zhang, 2020; Lu, Stratton & Tang, 2020). Mientras muchas partes del mundo continúan luchando con la crisis de COVID-19, los investigadores trabajan constantemente para comprender los patrones subyacentes de la pandemia y arrojar más luz sobre sus aspectos sin respuesta. Así lo demuestra el importante número de artículos científicos publicados durante los últimos meses. En este sentido, en los primeros nueve meses de pandemia, la búsqueda del término 'COVID-19' en Scopus arrojó 43.071 artículos (Sharifi & Khavarian-Garmsir, 2020).

La prevención y el control de la pandemia requiere coordinación política, coordinación de servicios sanitarios, aplicación de TIC, etc. (Sonn & Lee, 2020; Menut et al, 2020). En comparación con el SARS (Síndrome Respiratorio Agudo Severo) que estalló hace 17 años, la iteración de tecnologías emergentes, especialmente la mejora y el uso generalizado de dispositivos portátiles, ha traído muchos cambios en la forma en que las ciudades enfrentan la pandemia y los métodos de prevención y control (Cherry, 2004; Beirman, 2006). De hecho, la pandemia ha puesto de relieve el viejo debate sobre las posibles vulnerabilidades de las ciudades ante pandemias y enfermedades infecciosas (Yang & Chong, 2021). Debido a su papel en la gestión urbana y el intercambio de información, los proyectos de ciudades inteligentes se han posicionado como una herramienta eficaz para la prevención y el control de pandemias sin implementar una política de confinamiento estricta (Sonn & Lee, 2020; Costa & Peixoto, 2020; Khan et al, 2021). El uso de plataformas de ciudades inteligentes para la prevención inteligente, la gestión de epidemias, la detección de información y la combinación de recursos médicos en la prevención y el control de epidemias ha despertado el interés de los legisladores y de la comunidad científica (Adhikari et al., 2020). Así, la reciente pandemia ofrece una oportunidad sin precedentes para comprender cómo las ciudades pueden verse afectadas por circunstancias adversas y qué acciones se necesitan para minimizar los impactos y mejorar la resiliencia urbana (Jaiswal, Agarwal, & Negi, 2020; Coşkun & Gündüz, 2021).

Alumbrado público

Desde el desarrollo de las bombillas incandescentes a finales del siglo XIX, se han investigado diversos métodos y tecnologías, tanto para producir luz blanca de manera eficiente como para generar y distribuir la energía para su funcionamiento. La tecnología basada en diodos emisores de luz (LED) supone el último gran hito en este sector tecnológico en virtud de su mayor ahorro energético, fiabilidad y fácil control electrónico con respecto al resto de tecnologías (Gago-Calderón, 2011; Orejón-Sánchez, Hermoso-Orzáez & Gago-Calderón, 2020). Según The Northeast Group (2017), el 89% de los 363 millones de farolas del planeta adoptarán LED para 2027. Sin embargo, la misma fuente

estima que solo el 29% de estos puntos de luz tendrán características inteligentes, por ejemplo, telecontrol, programación de niveles de intensidad, etc. (Pardo-Bosch, 2021).

Hoy en día, casi la totalidad de la población está familiarizada de algún modo con la tecnología LED, pues está presente en muchos equipos de uso cotidiano, como radios, televisores, teléfonos móviles y pantallas de relojes digitales. Sin embargo, la dificultad de obtener la gama completa de colores, incluyendo el blanco, limitaron históricamente su uso (Diewald, 2004; Caminos, 2011). Esta realidad ha cambiado rápidamente en los últimos años con la introducción de nuevos materiales en los procesos de fabricación que han permitido crear LEDs que emiten prácticamente en todo el espectro visible generando prácticamente cualquier color y ofreciendo, al mismo tiempo, una eficiencia lumínica que supera cualquier tecnología tradicional de iluminación (Pintér et al, 2018; Pattison, 2018).

Estos avances se deben a que los LED son, desde principios del siglo XXI, uno de los elementos electrónicos que están gozando de un mayor desarrollo, gracias a su implantación masiva en múltiples aplicaciones y productos. La alta demanda generada está facilitando que se destinen grandes partidas económicas a su desarrollo e industrialización (Gago-Calderón, Orejón-Sánchez & Hermoso-Orzáez, 2018).

En este proceso de desarrollo, los LEDs están expandiendo su uso a un amplio rango de aplicaciones de iluminación. Considerando sus propiedades de funcionamiento de bajo consumo energético y su alto brillo, estas características los hacen muy adecuados para su uso en ambientes donde se necesita una potencia luminosa (Yoomak et al, 2018; Pattison, 2018).

Uno de los principales objetivos de las ciudades inteligentes es la eficiencia energética. En este sentido, las instalaciones de alumbrado público representan un consumo energético importante, pues el 20% de la generación eléctrica del planeta se dedica a la iluminación, un 17% a iluminación interior y un 3% a iluminación exterior (Montoya, 2017; Orejon-Sanchez, Andres-Diaz & Gago-Calderon, 2021). Este consumo puede verse afectado, además de por la tecnología de emisión de luz, por factores como la regulación, el mantenimiento y la telegestión (Pachamanov, A., 2019). En los últimos años, los esfuerzos se han centrado en la sustitución de fuentes de iluminación tradicionales por nuevas fuentes de iluminación más eficientes, como los LEDs, en combinación con sistemas de telegestión conectados a redes de sensores inteligentes (Sanchez-Sutil, F., 2021).

Por otra parte, el alumbrado público juega un papel relevante tanto para la seguridad como para la calidad de vida en las zonas urbanas. Por ello, abarca otros dos de los principales pilares de una ciudad inteligente: además del *smart energy*, se involucra en *smart mobility* y medioambiente (Petrìoli, 2019; Bauer et al, 2018). El objetivo principal del alumbrado público es generar unas condiciones que proporcionen un entorno seguro y confortable para los conductores y peatones durante las horas nocturnas (Carli, 2017).

Por último, el otro rol que desempeña el alumbrado público en las ciudades inteligentes es que proporciona a nivel infraestructura *hardware*, una red que puede considerarse

como la columna vertebral inicial para desplegar servicios y e infraestructuras. En este sentido, se concibe como una tecnología anterior y más madura, pues el concepto de “*Smart City*” es relativamente nuevo, sin embargo, el término “*Smart Lighting*” existe desde hace más de una década (Palmer et al., 2021). En el contexto actual, la instalación de alumbrado público puede emplearse como red de comunicaciones y como soporte estructural para instalar dispositivos *IoT* tales como *gateways*, sensores meteorológicos, cámaras de video, etc. (Lee et al. 2019). Además, puede ofrecer sinergias entre los responsables de los servicios urbanos (administración local, proveedores de energía y empresas de servicios públicos) (Jin, 2016), pudiendo integrar conectividad de banda ancha, control de semáforos, gestión del tráfico, aparcamiento inteligente, estaciones de carga de vehículos eléctricos, monitoreo de calidad del aire y ruido o detección de peatones (Cho et al. 2019). La iluminación inteligente consta de luminarias regulables, un sistema de control y una infraestructura de soporte. A su vez, el sistema de control se compone de nodos de luminarias, una red de comunicación y una interfaz humana (Gao et al. 2019).

En instalaciones de iluminación, cuando se implementa la iluminación adaptativa, puede reducir el uso de energía de iluminación hasta en un 50%, al tiempo que proporciona unas condiciones lumínicas de mayor calidad y seguridad (Bock et al. 2019). La iluminación inteligente es hoy una realidad y ofrece importantes beneficios potenciales para las ciudades, por ello la podemos considerar como el punto de partida lógico de cualquier plan de ciudad inteligente.

Producción energética y energías renovables

Actualmente, la población mundial se estima en 7.800 millones de personas y viene creciendo desde 1950 a un ritmo promedio del 1,6% (D’Andrea, 2021). Este aumento de la población y de sus necesidades conlleva un incremento en el consumo de recursos naturales que, por otra parte, son limitados, llegando a producir desequilibrios en su regeneración natural y su sostenibilidad (Jara-Gavilán, 2018).

Aunque los combustibles fósiles no son sostenibles y provocan graves problemas ambientales y de salud en la población, siguen siendo el principal contribuyente al sector energético (Curtin et al, 2019; Olabi & Abdelkareem, 2022). La necesidad creciente de energía sigue lejos de abastecerse de forma sostenible, como podría ser mediante generación hidráulica, que apenas supone el 2,7% de la producción, o con fuentes renovables, como la termosolar, la fotovoltaica o la eólica, que suponen solo el 4,2% del total (Jiménez, 2020). Por otro lado, la energía nuclear, que no produce emisiones contaminantes a la atmósfera, tiene una oposición frontal de la sociedad por la dificultad de gestionar sus residuos y el temor a la magnitud de sus accidentes, por lo que no crece y aporta en torno al 11% de la producción total (Fraguas, 2019).

Si continuamos emitiendo a la atmósfera gases de efecto invernadero al ritmo actual, estamos abocados a un cambio climático, graves problemas de salud, aumento del nivel

del mar, cambios en el ecosistema, etc. (Olabi et al, 2022; Gustavsson, 2021). Con base en estos hechos, casi todas las naciones han comenzado a implementar estrategias para evitar o atrasar la aparición de estos escenarios. Los gobiernos han comenzado a revisar sus estrategias y políticas energéticas para minimizar estos problemas a través de la mejora de la eficiencia de las tecnologías actuales (Pili et al, 2020), el desarrollo de nuevos dispositivos que sean eficientes y tengan un menor impacto ambiental (Sayed, 2021), y la transición a recursos de energía renovable parcial o totalmente (Hussain, Arif & Aslam, 2017).

Sin embargo, vale la pena mencionar que la implantación de energías renovables tiene aún que superar muchos desafíos y barreras (Hu et al, 2018; Karytsas, & Choropanitis, 2017). Entre estos desafíos, cabe destacar los siguientes:

- Se necesita actualizar el marco regulatorio y definir nuevas políticas para fomentar el uso generalizado de fuentes de energía renovables (Reddy & Painuly, 2004; Sen & Ganguly, 2017; Shivakumar et al. 2019).
- También es necesario desarrollar métodos eficientes de captura de carbono para controlar el cambio climático (Bareschino et al, 2020; Hidalgo & Martín-Marroquín, 2020).
- La generalización de las pilas de combustible en el sector del transporte (Sayed et al, 2021; Abdelkareem, 2021).

En el contexto de las ciudades inteligentes, la fuente de energía renovable que mejor se ha adaptado y que destaca por su versatilidad es la energía solar fotovoltaica. Debido al aumento de producción de paneles fotovoltaicos el coste de estos ha disminuido, presentando actualmente unos precios muy competitivos con respecto a otras energías renovables (Sheha, 2021). El crecimiento de potencia instalada de energía fotovoltaica mundial se sitúa entre el 20 - 25% cada año (Breyer, 2017).

Esta hoja se ha dejado intencionadamente en blanco



II. Objeto y estructura de la tesis

Objeto de la tesis

La presente tesis doctoral tiene como objetivo principal exponer cómo las instalaciones de iluminación pueden contribuir al desarrollo sostenible e inteligente de las ciudades, independientemente de su tamaño o densidad de población. En el caso de ciudades pequeñas las mejoras están más vinculadas al ahorro energético y en ciudades grandes, además de contribuir a la mejora de la eficiencia energética se consigue dotar de mayor inteligencia a la ciudad, al poder emplearse la instalación de alumbrado además de como suministro energético para dispositivos *IoT*, como soporte estructural y canal de comunicaciones, optimizando las ciudades sin perjudicar la calidad de los servicios.

En este sentido, las contribuciones que componen esta tesis proponen el uso de las instalaciones de iluminación para mejorar la eficiencia energética en las ciudades centrando la investigación en instalaciones de iluminación en edificios, instalaciones deportivas y alumbrado público viario. Estas instalaciones se caracterizan por su alto consumo eléctrico y su baja eficiencia energética. Además de la eficiencia energética, las mejoras se extienden a los objetivos primarios del diseño como el confort o la seguridad, a la vez que permiten añadir otros nuevos como la estética o la durabilidad.

La investigación ha considerado tanto la fase de explotación de los sistemas de iluminación como la fase de diseño de sus instalaciones. En este sentido, se han analizado estructuras singulares de las ciudades como los estadios de fútbol de nivel competitivo profesional. Estos son centros neurálgicos de una ciudad, sobre los que se desarrollan y condicionan amplios bloques urbanos y que suponen, puntos muy visibles y reconocibles de las ciudades. Se trata de centros de grandes dimensiones, abiertos y con unos requisitos lumínicos que han aumentado considerablemente en los últimos años y que los convierten en las instalaciones de alumbrado de mayor potencia e intensidad de estos entornos. Esta elevada potencia tiene mucha relevancia en aspectos como la distribución de energía eléctrica o aspectos medioambientales como la contaminación lumínica.

Por otra parte, se ha estudiado la incorporación de las energías renovables en las instalaciones de iluminación, analizando la viabilidad de proyectos consistentes en instalaciones de alumbrado público alimentadas de manera autónoma con energía solar fotovoltaica. Este estudio de viabilidad se realiza de manera multidimensional, incluyendo aspectos técnicos, económicos, de sostenibilidad y aceptación social. En referencia a este último apartado, se presenta un estudio estadístico en el que se valora el grado de aceptación de la sociedad española de este tipo de tecnologías y de la percepción de viabilidad de su uso en los núcleos principales de los municipios, considerando aspectos como la mejora urbanística, la sostenibilidad, la seguridad operativa, el impacto visual y percepción de riesgo de vandalismo. También, con respecto al estudio de viabilidad económica, se comparan los costes entre realizar una instalación de

iluminación LED fotovoltaica respecto a otra de iluminación LED conectada a la red de distribución en corriente alterna, con resultados luminotécnicos equivalentes y adaptada a la normativa vigente mediante la canalización subterránea del suministro eléctrico; esta comparación es especialmente significativa en instalaciones urbanas de nueva edificación, zonas aisladas o sin un acceso previsto a la electricidad.

Por último, la infraestructura *hardware* de las redes de alumbrado público constituye una red mallada homogénea y constante de luminarias que se despliega a lo largo de toda la ciudad. Todos estos aspectos suponen una base suficiente para poder actuar como una estructura de comunicaciones para el desarrollo de una ciudad interconectada. La naturaleza digital de las luminarias LED y el desarrollo de las comunicaciones, tanto a través del medio físico de la propia línea eléctrica (PLC) como inalámbricas, ya permiten el desarrollo fiable de una arquitectura de telegestión o telecontrol propias de la red de alumbrado, que permite su regulación y su supervisión. De este modo, en muchas ciudades y municipios el alumbrado público ya constituye una red de nodos de comunicaciones que, más allá de la iluminación, puede considerarse el inicio de la columna vertebral de una instalación que puede permitir desplegar otros servicios e interconectar más infraestructuras. En este sentido, y de manea extendida, además de poder emplearse como red de comunicaciones, los mástiles, columnas o brazos de las luminarias pueden utilizarse como soporte estructural para dispositivos comunes de las ciudades inteligentes tales como *gateways*, sensores climáticos, sistemas de conteo de personas, sonómetros, cámaras de video, etc. En este trabajo, se ha realizado un estudio de las diferentes experiencias piloto que se están llevando a cabo en distintas entidades públicas locales de España (ayuntamientos, diputaciones, cabildos, etc.), y cómo los programas de financiación estatal están desarrollando y evolucionando sus planes específicos en base a los resultados que se van obteniendo y a los indicadores que los evalúan (KPIs), todo ello comparado con los resultados obtenidos en las principales ciudades europeas de referencia.

Por último, dentro de los otros méritos relacionados con la investigación, se exponen las conclusiones obtenidas tras el desarrollo de la Patente Nacional, actualmente en explotación, titulada: “Sistema de control punto a punto para instalaciones de luminarias”, con número de publicación 2752730. En ella se diseña un sistema de comunicaciones bidireccional para la generación de una arquitectura de telecontrol punto a punto en instalaciones de alumbrado como sistema inicial de comunicaciones para su gestión, sin hacer inversiones de equipamiento y usando la conmutación básica de la señal de alimentación.

Estructura de la tesis:

Esta tesis tiene la modalidad de “Tesis por compendio” en cumplimiento con los requisitos especificados en el Reglamento de Doctorado de la Universidad de Málaga. Las referencias de los 3 artículos en los que el doctorando figura como primer o segundo autor y que avalan la presente tesis Doctoral se detallan en el siguiente apartado de acuerdo con

su orden cronológico de publicación junto con los datos de impacto de las revistas donde se han publicado.

La tesis sigue la estructura que se presenta a continuación:

- I. La primera sección es la introducción a la tesis donde se presentan los antecedentes y la hipótesis.
- II. En segundo lugar, se presentan los objetivos y la estructura de la tesis, donde se hace mención la modalidad de compendio de artículos.
- III. La sección 3 presenta cada artículo haciendo un resumen previo de su contenido y señalando los detalles de su publicación.
- IV. La sección 4 presenta otros méritos conseguidos hasta la fecha relacionados con la investigación.
- V. La sección 5 presenta las conclusiones, en ella se hace un resumen amplio de la tesis valorando las aportaciones del autor.
- VI. Por último, en la sección 6 se indican las líneas de investigación futuras.

Esta hoja se ha dejado intencionadamente en blanco



III. Resumen de las contribuciones

3.1. Artículo 1

3.1.1. Identificación del artículo

Título: LED Lighting Installations in Professional Stadiums: Energy Efficiency, Visual Comfort, and Requirements of 4K TV Broadcast.

DOI: <https://doi.org/10.3390/su12187684>

Coautores: Manuel Jesús Hermoso Orzáez y Alfonso Gago Calderón

3.1.2. Indicadores de calidad

Editorial: MDPI

Revista: Sustainability

Fecha de Publicación: 17 de septiembre de 2020

Factor de impacto: 3.251 WOS (JCR) [2020]

Cuartil y Posición en su categoría: Q2 (124/274 - SCIE Environmental Sciences) [2020]

Puntuación de acuerdo con los criterios de valoración de la ANECA: 0,75 puntos.

3.1.3. Resumen del artículo

Resumen:

En la actualidad la tecnología de iluminación LED alcanza Valores de Eficiencia Energética en Instalaciones (VEEI - $W/m^2 \cdot 100luxes$) superiores a cualquier tecnología de iluminación convencional gracias al número de lúmenes por vatio que son capaces de generar, a la naturaleza direccional de sus emisiones y a la capacidad de ajuste mediante lentes concentradoras con graduaciones de haz que llegan a los 5 grados. De esta manera se consiguen ahorros energéticos de hasta el 80%. Esto, junto a una disminución sustancial de parpadeos (*flickers*) -mejora notablemente el uso de cámaras superlentas- y la desaparición de tiempos de encendido o rearme ante fallos, posicionan la tecnología LED como la principal solución para iluminar instalaciones deportivas profesionales.

Este trabajo describe la evolución en requisitos normativos que están imponiendo los organismos deportivos rectores (FIFA, UEFA, FIBA...) y las ligas profesionales para afianzar sus competiciones como productos televisivos de máxima calidad y se analizan las tendencias de requisitos, especificaciones para los equipos de iluminación y su instalación (colocación, red eléctrica...) usadas para convertir estadios en centros optimizados de celebración y difusión de eventos de masa: iluminancias horizontales/verticales/a cámara, uniformidades media/extremas, deslumbramiento, reducción de luz intrusa en graderíos, Índice de Reproducción Cromática (IRC), Temperatura de color (Tcc) o efectos de encendido.

Metodología y resultados:

La primera contribución analiza, en primer lugar, el marco normativo de las competiciones deportivas de alto nivel, en concreto la normativa relativa en materia de iluminación. En la Tabla 1 se detallan los diferentes requisitos lumínicos mínimos exigidos en competiciones deportivas de alto nivel en el fútbol (FIFA, 2011; LaLiga, 2016c; Premier League, 2018; UEFA, 2016).

ESTAMENTOS RECTORES DEL FUTBOL EN DIFERENTES COMPETICIONES Y ÁMBITOS TERRITORIALES		<u>LALIGA</u> (España) Primera División 2016	<u>PREMIER LEAGUE</u> (Inglaterra) Primera División 2018	<u>UEFA</u> (Europa) Estadios Nivel élite 2016	<u>FIFA</u> (Mundial) Clase V Internacional 2011
Iluminancia vertical en dirección a las cámaras fijas	Iluminancia Vertical: (Lux)	2.200	1.650	1.500	2.000
	Uniformidad 1: (E_{min}/E_{max})	0,6	0,5	0,4	0,6
	Uniformidad 2: (E_{min}/E_m)	0,7	0,6	0,5	0,7
Iluminancia horizontal, medida a la altura del terreno de juego	Iluminancia Horizontal (Lux)	3.000	-	2.000	3.500
	Uniformidad 1: E_{min}/E_{max}	0,7	-	0,5	0,6
	Uniformidad 2: E_{min}/E_m	0,8	-	0,7	0,8
Temperatura de color (K)		5.000 - 6.200	5.200 - 6.000	5.500 - 6.200	> 4.000
Reproducción cromática (RA/CRI)		≥ 90	≥ 80	≥ 80	≥ 65
Deslumbramiento (GR)		≤ 50	≤ 50	< 50	≤ 50
Flicker (FF)		< 5%	< 6%	< 5%	< 5%

Tabla 1: Requisitos lumínicos para competiciones de fútbol (FIFA, 2011; LaLiga, 2016c; Premier League, 2018; UEFA, 2016).

Uno de los parámetros más significativos de análisis corresponde a la iluminancia vertical, por ser el valor que afecta de manera directa a las cámaras de TV y fija el nivel de detalle que pueden llegar a mostrar, especialmente en tomas de primer plano de los jugadores (cámara de campo) y captar detalles de jugadas en movimiento sobre el terreno de juego (cámara fija). En este sentido, se comprueba como LaLiga se posiciona como la competición deportiva que presenta los requerimientos más estrictos. Por otra parte, la iluminancia horizontal constituye una medida de la luz que alcanza un plano horizontal, en otros términos, corresponde al nivel de iluminación que percibirán los jugadores y que por ende afectará de manera directa a su rendimiento. Se comprueba como ahora La FIFA ocupa la primera posición y establece la iluminancia media horizontal mínima más elevada. Por último, los índices de uniformidad son una parte importante de un conjunto

completo de criterios de iluminación y tienen un efecto determinante en la calidad lumínica de las instalaciones (Football NSW, 2015). Unos valores altos de iluminancia deberán ir acompañados respectivamente de una correcta uniformidad; variaciones grandes en sectores de la iluminación vertical producirán imágenes de vídeo digital de baja calidad y una variación de la iluminancia horizontal disminuirán la capacidad de percepción tanto de los jugadores como de los espectadores del estadio. En la Tabla 1 se puede comprobar como los valores más restrictivos de uniformidad los presentan LaLiga y La FIFA para la iluminancia vertical y LaLiga para la horizontal.

Desde otra perspectiva, una retransmisión televisiva en ultra alta definición (UHD) o 4K busca la máxima calidad del color para optimizar el nivel de detalle en sus píxeles. La unidad de medida de este objeto es el Índice de Reproducción Cromática (IRC), que representa la capacidad de una fuente de iluminación artificial de reproducir el efecto de la iluminación natural. Este índice establece un rango de medida de Ra0 a Ra100 siendo Ra100 la iluminación de una bombilla incandescente. Es destacable como La Liga exige un valor muy elevado del IRC con valores iguales o superiores a un Ra90. En esta línea, estos nuevos requisitos para retransmisiones UHD y 4K se adaptan mejor a la tecnología LED, al poseer ésta un espectro de emisiones más controlado, eliminando totalmente las radiaciones ultravioletas e infrarrojas y reduciendo la corrección de color y postproducción en la unidad móvil de transmisión. Además, el uso de cámaras súper lentas precisa que el parpadeo de luz o “*flicker*” de las instalaciones sea el mínimo posible. Este “*flicker*” es la impresión de inestabilidad de la sensación visual inducida por un estímulo luminoso cuya luminosidad o distribución espectral fluctúa con el tiempo (International Electrotechnical Commission, 1990). Molestias, distracción, fatiga ocular, cefalea y migraña son los efectos fisiológicos perjudiciales de estos micro parpadeos en los seres humanos (Gil-de-Castro, Rönnberg, & Bollen, 2017; Gutierrez et al., 2017). La UEFA, La FIFA y LaLiga requieren que los clubes tengan una tasa de este parámetro que no supere el 5% (UEFA, 2016); por su parte, el reglamento de la Premier League requiere que los clubes tengan una tasa de parpadeo que no supere el 6% (Premier League, 2018). Cabe mencionar que las pruebas de los nuevos sistemas LED han registrado una tasa de sólo un 0,2%.

A continuación, se analiza el estado actual de los estadios de fútbol en España. En particular, se presentan de manera resumida, los resultados de las inspecciones realizadas por LaLiga para verificar la iluminación del terreno de juego y suministro de energía en los estadios, conforme a los requerimientos del “Reglamento para la Retransmisión Televisiva (RRT)” (LaLiga, 2016c). El primer ejemplo describe la auditoría realizada por LaLiga al estadio Nuevo los Cármes (Granada), y se comprueba como los resultados obtenidos son muy inferiores a los requeridos por el RRT, al no cumplirse los valores mínimos de iluminancia horizontal y vertical, así como otras deficiencias como la inexistencia de un reencendido instantáneo o temperatura de color variable entre otras. LaLiga en su informe concluye que, dada la geometría del estadio, sería factible la instalación de proyectores LED para alcanzar los requerimientos de RRT en 4K (LaLiga, 2016a). En el segundo ejemplo se resume la auditoría realizada por LaLiga al Estadio

Mendizorrotza (Vitoria-Gasteiz), en este caso los resultados son incluso peores que en el ejemplo anterior, valores muy alejados de los RRT. Las recomendaciones de LaLiga siguen la línea del ejemplo anterior, pasando por la sustitución de las actuales luminarias de halogenuros metálicos por luminarias LED. Tras detallar dos ejemplos de estadios de fútbol en profundidad, se procede a resumir la evolución de los estadios de fútbol desde la fase de auditoría hasta diciembre de 2017, donde se comprueba como ya la mayoría de los estadios han aplicado las recomendaciones de LaLiga (Congresotec, 2018). Como referentes en España, cabe mencionar la iluminación de los estadios Wanda Metropolitano del Atlético de Madrid y Ramón Sánchez-Pizjuán del Sevilla CF, al ser los primeros estadios del mundo en contar con tecnología LED en el 100% del espacio deportivo (Congresotec, 2018).

Por último, se exponen los casos prácticos realizados por los autores de la contribución, donde se detallan las principales dificultades técnicas asociadas al diseño lumínico de instalaciones deportivas. Se exponen ejemplos prácticos de proyectos en orden ascendente de dificultad: eventos no televisados, eventos televisados de segunda división (Estadio Nuevo Los Cármenes) y por último eventos televisados de primera división (Estadio Benito Villamarín y Estadio Ramón Sánchez Pizjuán). En el primero de los casos (partidos no televisados), la iluminancia vertical no adquiere relevancia por lo que cada luminaria o grupo de luminarias direcciona su emisión hacia la superficie más próxima para minimizar pérdidas lumínicas y cumplir con la iluminancia horizontal. Esto puede ser apreciado en la ilustración 1, que corresponde al diseño del campo de fútbol municipal de Haría, Las Palmas. Este primer caso práctico se presenta como el escenario con requerimientos lumínicos menos exigentes, y se expone para poder realizar una comparativa que permita comprender mejor el diseño de instalaciones más complejas.



Ilustración 1: Campo de fútbol Municipal Ladislao Rodríguez Bonilla, Las Palmas, España.

El segundo caso práctico corresponde al Estadio municipal Nuevo Los Cármenes. En éste, las luminarias se agrupan en cuatro torres idénticas y dos agrupaciones lineales en las tribunas este y oeste. Cuando se iluminan estadios de alto nivel la iluminancia vertical pasa a ser el requisito principal, esto se comprueba al observar las proyecciones de las

luminarias sobre el campo (en este caso no bastará con iluminar la zona más próxima a los grupos de luminarias, se deberá también iluminar el extremo opuesto del campo). Esto puede parecer poco eficiente, pues direccionar una luminaria hacia un punto ubicado a gran distancia conlleva altas pérdidas lumínicas, además para ello será necesario aumentar el grado de inclinación y por consiguiente se incrementará el deslumbramiento disminuyendo el confort visual. En la ilustración 2 se aprecia como las luminarias que direccionan su emisión hacia el área de portería se localizan en las torres ubicadas en las esquinas del campo. Para cumplir con las exigencias de segunda división de LaLiga fueron necesarias 606 luminarias de 240W con lente concentradora de 15° y 222 luminarias de 240W con lente concentradora de 25°, un total de 828 luminarias lo que supone una potencia instalada de 198,72 kW. Tras finalizar el diseño, se concluyó que la solución idónea para alcanzar una iluminación homogénea y eficiente pasaría por ubicar dos postes o agrupaciones de luminarias adicionales detrás de las porterías.

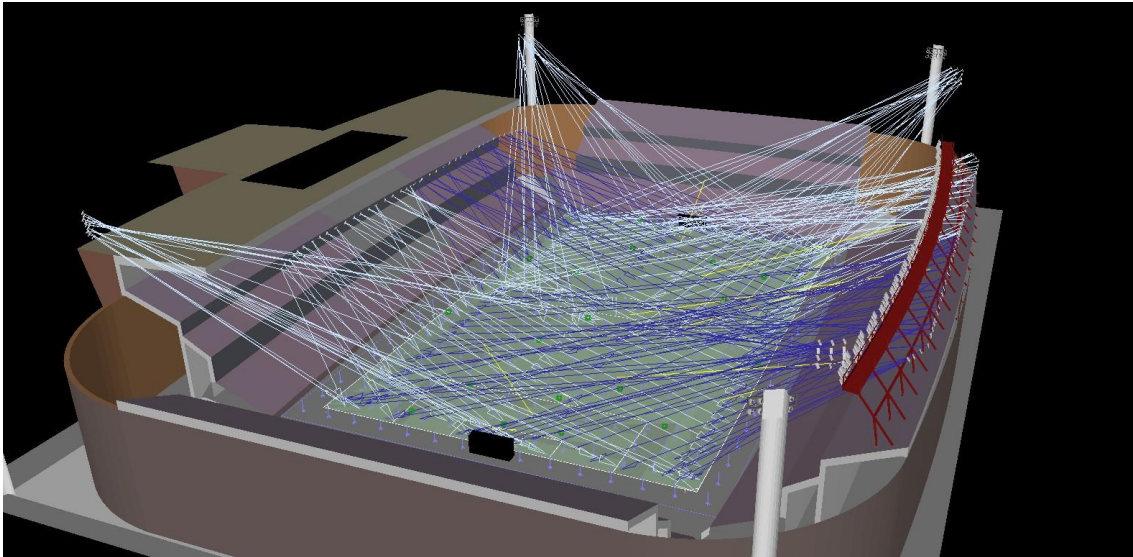


Ilustración 2: Simulación lumínica en DIALux y resultados del estudio lumínico del estadio Nuevo Los Cármenes, Granada CF

Por último, se eleva la exigencia y se exponen dos casos prácticos de eventos televisados de primera división: el Estadio Benito Villamarín y el Estadio Ramón Sánchez Pizjuán. Para el primer caso, fueron necesarias 1.572 luminarias de 240W lo que supone una potencia instalada de 377,28 kW, se utilizaron luminarias con lentes concentradoras de 15°, un IRC de 90, una eficiencia lumínica de 136,5 lm/W y una temperatura de color de 5.000K y para el segundo caso se utilizaron 1.136 luminarias del mismo tipo lo que supone una potencia instalada de 272,64 kW, un 25% inferior. (Los resultados de ambas simulaciones se presentan en las ilustraciones 3 y 4 respectivamente)

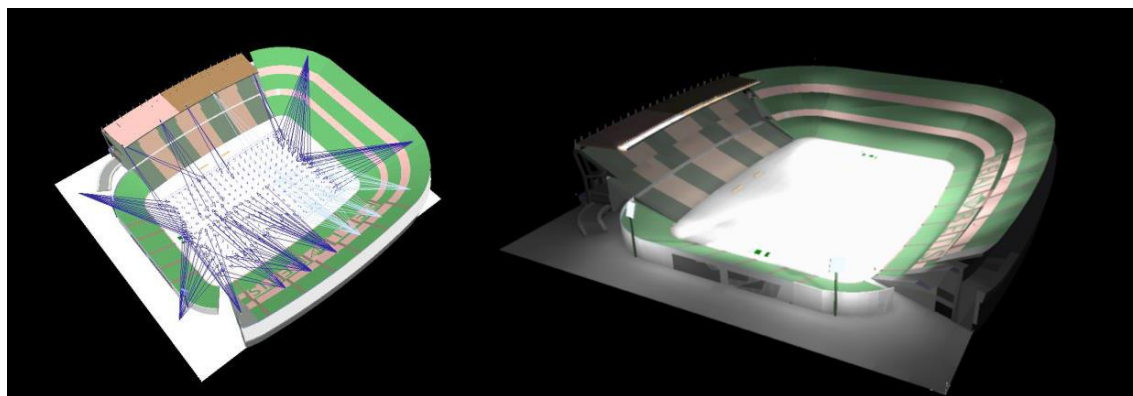


Ilustración 3: Resultados del estudio luminotécnico del Estadio Benito Villamarín.

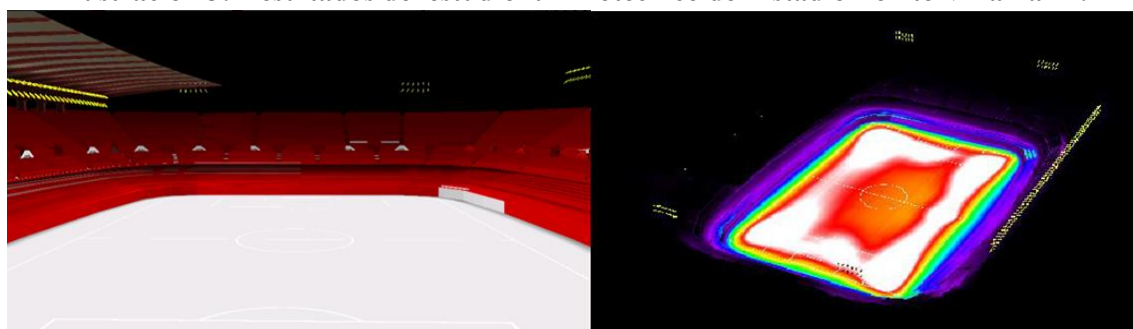


Ilustración 4: Resultados del estudio lumínico del Ramón Sánchez Pizjuán.

Conclusiones:

Se concluye que estas instalaciones de máxima exigencia de requisitos luminotécnicos y, consecuentemente, de consumo energético, resulta inviable iluminar, eficientemente y con un nivel suficiente de calidad, estadios de alto nivel únicamente con luminarias en torres emplazadas en las esquinas. Al contrario, con un diseño distribuido simétrico se podrá iluminar un mismo punto desde múltiples ubicaciones alcanzando la máxima uniformidad horizontal y vertical. En concreto, la iluminación más eficiente corresponde a una distribución de luminarias en forma de óvalo. En virtud de los casos prácticos expuestos, se comprueba como este tipo de instalaciones suponen un reto significativo de diseño lumínico que eleva al máximo las exigencias y, por consiguiente, la dificultad de cálculo, puesto que en la mayoría de los casos se supera el millar de puntos de luz, teniendo en cuenta que cada punto de luz tiene una ubicación (x, y, z), dirección y sentido, esto se traduce en que cada luminaria tendrá una coordenada en el espacio, una inclinación y rotación.

El futuro cercano de todos los estadios profesionales parece que seguirá la línea marcada por las remodelaciones o construcciones más recientes que actúan como referentes actuales de los proyectos de remodelación tanto en fase de proyecto como en ejecución.

3.1.4. Referencia bibliográfica publicación 1.

Orejón-Sánchez R.D., Hermoso Orzáez M.J. y Gago-Calderón A. LED Lighting Installations in Professional Stadiums: Energy Efficiency, Visual Comfort, and Requirements of 4K TV Broadcast. Sustainability. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12187684>

Base de datos 2020: JCR/ Factor de Impacto: 3.251 WOS (JCR) / Cuartil: Q2 (124/274 - SCIE Environmental Sciences)

Resumen

En la actualidad la tecnología de iluminación LED alcanza Valores de Eficiencia Energética en Instalaciones (VEEI - $W/m^2 \cdot 100luxes$) superiores a cualquier tecnología de iluminación convencional gracias al número de lúmenes por vatio que son capaces de generar, a la naturaleza direccional de sus emisiones y a la capacidad de ajuste mediante lentes concentradoras con graduaciones de haz que llegan a los 5 grados. De esta manera se consiguen ahorros energéticos de hasta el 80%. Esto, junto a una disminución sustancial de parpadeos (*flickers*) -mejora notablemente el uso de cámaras superlentas- y la desaparición de tiempos de encendido o rearme ante fallos, posicionan la tecnología LED como la principal solución para iluminar instalaciones deportivas profesionales.

Este trabajo describe la evolución en requisitos normativos que están imponiendo los organismos deportivos rectores (FIFA, UEFA, FIBA...) y las ligas profesionales para afianzar sus competiciones como productos televisivos de máxima calidad y se analizan las tendencias de requisitos, especificaciones para los equipos de iluminación y su instalación (colocación, red eléctrica...) usadas para convertir estadios en centros optimizados de celebración y difusión de eventos de masa: iluminancias horizontales/verticales/a cámara, uniformidades media/extremas, deslumbramiento, reducción de luz intrusa en graderíos, Índice de Reproducción Cromática (IRC), Temperatura de color (Tcc) o efectos de encendido.

Palabras clave: tecnología LED, estadios, eficiencia energética, Ultra Alta Definición (UHD), confort visual.

3.2. Artículo 2

3.2.1. Identificación del artículo

Título: Autonomous Photovoltaic-LED urban street lighting: social, technical and economic viability analysis based on a case-of-study

DOI: <https://doi.org/10.3390/su132111746>

Coautores: José Ramón Andrés Díaz y Alfonso Gago Calderón

3.2.2. Indicios de calidad

Editorial: MDPI

Revista: Sustainability

Fecha de Publicación: 24 de octubre de 2021

Factor de impacto: 3.251 WOS (JCR) [2020]

Cuartil y Posición en su categoría: Q2 (124/274 - SCIE Environmental Sciences) [2020]

Puntuación de acuerdo con los criterios de valoración de la ANECA: 0,75 puntos.

3.2.3. Resumen del artículo

Resumen

Análisis de la viabilidad técnica y económica y la sostenibilidad de los proyectos de instalación de alumbrado público urbano con equipos alimentados por energía fotovoltaica. En primer lugar, se realiza una descripción del estado del arte de la tecnología, estudiando los componentes involucrados en las luminarias solares LED utilizadas para el alumbrado público, así como ejemplos de sistemas fotovoltaicos autónomos instalados en diferentes países. Posteriormente se presenta un caso práctico basado en un proyecto de renovación de la instalación de alumbrado público en un municipio de 5.000 habitantes en Lanzarote (España). Se analizan dos alternativas: la canalización subterránea de la anterior red eléctrica aérea y la instalación de nuevas luminarias LED, y, por otro lado, la instalación de luminarias solares LED autónomas. Las simulaciones concluyeron que una propuesta de instalación de iluminación fotovoltaica garantiza los requisitos de iluminación M3 existentes (EN 13201-2: 2015) y representa un ahorro en el presupuesto de ejecución de material del 43,78% con respecto a la opción de canalizar la red eléctrica e instalar nuevas luminarias LED. Finalmente, se realiza un estudio estadístico para evaluar la aceptación social de los ciudadanos españoles de la tecnología fotovoltaica autónoma en entornos urbanos. Esto considera las fortalezas y debilidades de la tecnología: sostenibilidad, robustez, impacto visual o riesgo de vandalismo. La mayoría de los sujetos encuestados (de cualquiera de los segmentos de edad) son conscientes del problema que supone la instalación de cableado aéreo en fachadas (95%) y consideran sostenible el uso de la energía fotovoltaica en el alumbrado urbano (88%). Sin embargo, el 47% de los encuestados considera que los posibles cortes

o reducciones de emisión lumínica por falta de captación de energía solar son problemáticos y el 17% lo considera muy problemático.

Metodología y resultados

En esta segunda contribución se presentan los mecanismos para mejorar la aceptabilidad de la iluminación con diodos emisores de luz (LED) alimentados con energía solar fotovoltaica. En primer lugar, se analiza la viabilidad técnica de la solución tomando como referencia un proyecto real. En segundo lugar, se analiza la viabilidad económica comparando un proyecto de referencia, el caso de estudio y un análisis de los concursos públicos en España y finalmente se evalúa la percepción de los ciudadanos asociados a esta tecnología.

Para situar al lector en los antecedentes que conducen a esta contribución, en el municipio de Haría (Las Palmas, España), a principios de 2018 se publicó el concurso público denominado “Renovación del alumbrado público de la localidad de Tabayesco” (en adelante proyecto de referencia). El proyecto contemplaba la canalización subterránea del suministro de energía, así como la instalación de nuevas luminarias LED. De forma paralela a la ejecución del proyecto anterior, se desarrolló una investigación propia encargada por el Ayuntamiento de Haría (Las Palmas, España), presentada en abril de 2018 [con número de expediente 2017000690] con el objetivo de realizar un análisis de viabilidad técnico-económica de las instalaciones de iluminación solar LED urbana en este municipio. Durante este período se analizó el mencionado proyecto de referencia con el fin de evaluar la viabilidad de proyectos de iluminación solar para futuras licitaciones públicas del municipio. De ahí surge esta segunda contribución a la tesis, en ella se comparan los requerimientos, obras necesarias, problemas y costes identificables en la instalación de un nuevo alumbrado público urbano autónomo Fotovoltaico-LED para cumplir con los requisitos técnicos exigidos en el proyecto de referencia, y en general, en cualquier proyecto de renovación de alumbrado público.

El análisis tecnológico incluye el dimensionamiento de una instalación de iluminación LED alimentada con energía solar capaz de abastecer un núcleo de población de unos 5.000 habitantes, cumpliendo con los requisitos de iluminación establecidos en el proyecto de referencia.

Para el análisis económico se compara el proyecto de referencia, el caso de estudio y los resultados del análisis de licitaciones públicas en España de alumbrado público mediante luminarias LED solares. El presupuesto de licitación del proyecto de referencia asciende a la cantidad de 326.960,38 €, para un total de 99 luminarias LED; es decir, el precio medio de instalación completa de cada luminaria LED para esta licitación es de 3.302,63 € (incluyendo mástil, cimentación, instalación, gastos generales, beneficio industrial e impuestos). Para el caso de estudio, tras el análisis de viabilidad técnica anterior, se determina un presupuesto de 184.989,95 € para un total de 99 luminarias solares LED; es decir, el precio medio de cada luminaria solar para una licitación de estas características ascendería a una cuantía de 1.868,59 €. Finalmente, se comparan los resultados del

análisis de las licitaciones públicas en España, enfocadas a la renovación del alumbrado público mediante luminarias LED solares en la última década, obteniendo un precio medio por luminaria LED solar de 1.875,24 €.

Finalmente, con el fin de conocer la opinión pública de la sociedad española sobre la aplicación de la energía solar en el alumbrado público de nuestras ciudades, se ha realizado una encuesta *online*, de acceso abierto, con un total de 453 sujetos anónimos. Solo se requería el grupo de edad y la ciudad de residencia antes de acceder a 6 preguntas técnicas que se detallan en la ilustración 5. La encuesta fue realizada a alumnos y profesores de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Málaga y a los principales contactos de todos los autores de este trabajo.

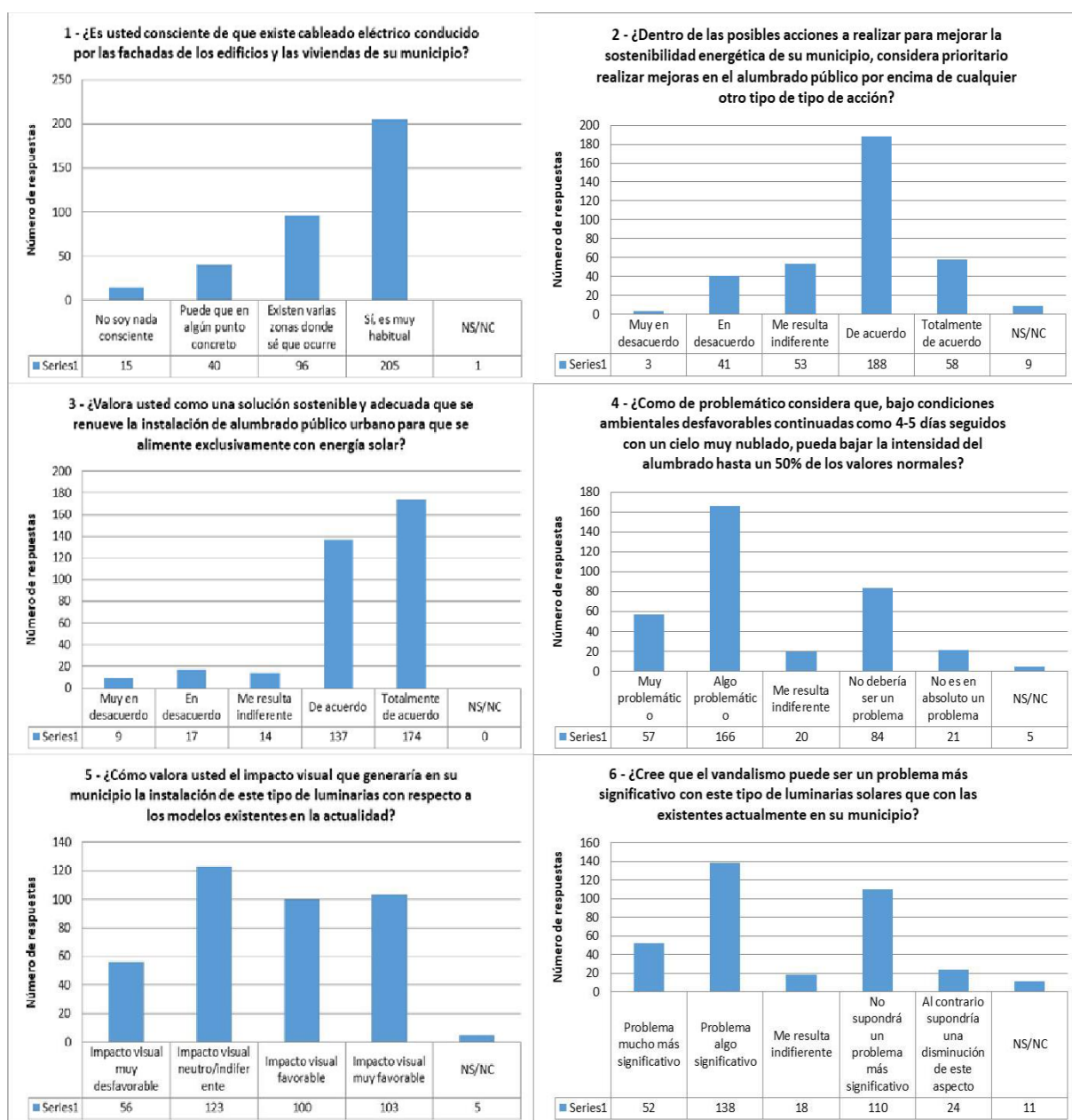


Ilustración 5: Resumen de resultados de la encuesta de valoración de la aceptación social del alumbrado solar fotovoltaico en entornos urbanos (Fuente: Elaboración propia).

Conclusiones

En la actualidad, la generalización de las luminarias LED ha supuesto una nueva revolución tecnológica dentro de este segmento de productos. Así, las instalaciones de iluminación fotovoltaica LED se posicionan actualmente como una tecnología eficiente donde se reduce al mínimo la necesidad de conversión de los valores de voltaje de la energía eléctrica, y una opción económicamente viable para cubrir las necesidades de alumbrado público tanto en el interior y en las entradas y perímetros de las ciudades. Esto se fundamenta en el aumento de los costes de la electricidad y los combustibles fósiles (Nowak, 2011), la disminución exponencial del precio del *Watt-peak* (Wp) generado con paneles fotovoltaicos (ARE, 2018) y el aumento constante de la eficiencia de los emisores LED. Este planteamiento no es solo para proyectos en los que son la única opción viable (lugares sin acceso a la electricidad), sino también para la renovación del alumbrado público urbano, donde las luminarias con alimentación desde la red de distribución en AC no tenían competencia hasta la fecha (Hyder et al. 2018). Tal hecho tiene especial relevancia en áreas con instalaciones eléctricas muy envejecidas o deterioradas. Aquí se evita reponer o adaptar las instalaciones a la normativa vigente, ahorrando costes muy importantes como, principalmente, el de canalización subterránea (Battaglini et al. 2012; Steinbach, 2013)

Los autores de la investigación presentada concluyen que las instalaciones de alumbrado público fotovoltaico urbano son técnica, económica y socialmente viables en virtud de los resultados obtenidos.

El análisis de viabilidad técnica, realizado en el contexto de un caso práctico, nos permite visualizar la instalación y comprobar que la tecnología propuesta cumple los requisitos normativos de calidad y eficiencia energética. Este estudio se corrobora con el análisis de los concursos públicos en España, donde se comprueba cómo las luminarias solares LED empiezan a ganar protagonismo en los últimos años.

Por otro lado, el estudio de viabilidad económica arroja resultados muy significativos, determinando que es un 44% más rentable realizar una instalación de iluminación LED fotovoltaica respecto a una instalación de iluminación LED conectada a la red de corriente alterna y adaptada a la normativa vigente mediante la canalización subterránea de su suministro eléctrico que penaliza el cableado de la red distribución aéreo existente aún en día en muchas ciudades tanto europeas como, especialmente, de otras continentes. Esta evaluación será tanto más cierta en la medida que se mantiene la subida sostenida de los costes de la energía eléctrica.

Finalmente, del estudio de viabilidad social se concluye que la mayoría de la población es consciente del problema en la conducción de la electricidad y, a su vez, el 89% considera una solución sostenible y adecuada que la instalación de alumbrado se renueve siendo alimentada exclusivamente por energía solar fotovoltaica. Además, la mayoría de los encuestados valora como problemático el hecho de que en condiciones ambientales desfavorables continuadas se pueda bajar la intensidad de la iluminación para garantizar el servicio y más de la mitad considera que el problema del vandalismo se puede agravar.

Las exigencias medioambientales, la creciente apuesta internacional por el uso de fuentes de energía renovables y la demostrada viabilidad de la tecnología de iluminación fotovoltaica LED hacen que las previsiones sean esperanzadoras a favor de esta tecnología, a la espera de su progresiva implantación en zonas con adecuado recurso solar.

3.2.4. Referencia bibliográfica publicación 2.

Orejón-Sánchez R.D., Andrés-Díaz J.R. y Gago-Calderón A. Autonomous Photovoltaic-LED urban street lighting: social, technical and economic viability analysis based on a case-of-study. Sustainability. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132111746>

Base de datos 2020: JCR/ Factor de Impacto: 3.251 WOS (JCR) / Cuartil: Q2 (124/274 - SCIE Environmental Sciences)

Resumen

Análisis de la viabilidad técnica y económica y la sostenibilidad de los proyectos de instalación de alumbrado público urbano con equipos alimentados por energía fotovoltaica. En primer lugar, se realiza una descripción del estado del arte de la tecnología, estudiando los componentes involucrados en las luminarias solares LED utilizadas para el alumbrado público, así como ejemplos de sistemas fotovoltaicos autónomos instalados en diferentes países. Posteriormente se presenta un caso práctico basado en un proyecto de renovación de la instalación de alumbrado público en un municipio de 5.000 habitantes en Lanzarote (España). Se analizan dos alternativas: la canalización subterránea de la anterior red eléctrica aérea y la instalación de nuevas luminarias LED, y, por otro lado, la instalación de luminarias solares LED autónomas. Las simulaciones concluyeron que una propuesta de instalación de iluminación fotovoltaica garantiza los requisitos de iluminación M3 existentes (EN 13201-2: 2015) y representa un ahorro en el presupuesto de ejecución de material del 43,78% con respecto a la opción de canalizar la red eléctrica e instalar nuevas luminarias LED. Finalmente, se realiza un estudio estadístico para evaluar la aceptación social de los ciudadanos españoles de la tecnología fotovoltaica autónoma en entornos urbanos. Esto considera las fortalezas y debilidades de la tecnología: sostenibilidad, robustez, impacto visual o riesgo de vandalismo. La mayoría de los sujetos encuestados (de cualquiera de los segmentos de edad) son conscientes del problema que supone la instalación de cableado aéreo en fachadas (95%) y consideran sostenible el uso de la energía fotovoltaica en el alumbrado urbano (88%). Sin embargo, el 47% de los encuestados considera que los posibles cortes o reducciones de emisión lumínica por falta de captación de energía solar son problemáticos y el 17% lo considera muy problemático.

Palabras clave: alumbrado público, iluminación fotovoltaica, luminarias inteligentes, viabilidad económica, canalización subterránea.

3.3. Artículo 3

3.3.1. Identificación del artículo

Título: Smart cities' development in Spain: comparison of technical and social indicators with reference to European cities

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103828>

Coautores: David Crespo García, José Ramón Andrés Díaz y Alfonso Gago Calderón

3.3.2. Indicios de calidad

Editorial: Elsevier

Revista: Sustainable Cities and Society

Fecha de Publicación: aceptado el 7 de marzo de 2022.

Factor de Impacto: 7,587 WOS (JCR) [2020]

Cuartil y Posición en su categoría: WOS (JCR): Q1/D1 (4/67 – SCIE Construction & Building Technology) (2020)

Puntuación de acuerdo con los criterios de valoración de la ANECA: 1 punto.

3.3.3. Resumen del artículo

Resumen

El gobierno de España ha impulsado la evolución de las ciudades españolas hacia su transformación digital, la integración del Internet de las Cosas (IoT) y la mejora de la cohesión social. Sin embargo, esta evolución aún no ha sido analizada o evaluada, y es considerada de gran relevancia puesto que se han destinado más de 200 M€ del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a iniciativas de ciudades inteligentes a través de cinco convocatorias divididas en dos planes nacionales (2014-2020). En esta evaluación se han analizado los proyectos de 61 entidades locales beneficiarias. Las líneas de actuación ejecutadas han sido identificadas y comparadas, mediante indicadores estandarizados (KPIs), con las actuaciones realizadas en las metrópolis europeas consideradas de referencia en materia de ciudad inteligente. Las actuaciones previstas en la última convocatoria del Plan Nacional de Territorios Inteligentes (Edificios Inteligentes) se asemejan mucho a la filosofía del paradigma de última generación de las ciudades inteligentes (enfoque holístico y especialización en temas como el turismo o la edificación inteligente), tras haber transcurrido la primera etapa que centraba las actuaciones en las áreas de tecnología, software y gobernanza inteligente. Este trabajo ofrece una imagen precisa de las prioridades y líneas de progreso de las ciudades inteligentes en cada periodo de la última década y ayuda a técnicos e investigadores a evaluar los proyectos ejecutados y diseñar nuevas líneas de desarrollo.

Metodología y resultados

Tras introducir al lector en el campo de las ciudades inteligentes (introducción general, antecedentes, definiciones...), en esta tercera contribución se han recopilado los principales estudios desarrollo urbano sostenible para seleccionar tres referencias en Europa en términos de desarrollo y éxito de estrategias de ciudades inteligentes. Estas tres ciudades, Londres, Ámsterdam y Viena destacan por su liderazgo internacional en actuaciones de ciudades inteligentes, esto se evidencia ya que ocupan históricamente las primeras clasificaciones de ciudades inteligentes en Europa y han recibido numerosos premios por sus estrategias de desarrollo.

En el caso de Londres, a pesar de la incertidumbre que rodea al Brexit, la capital del Reino Unido se erige como la ciudad más inteligente del mundo según el índice IESE Cities in Motion de 2019 y 2020 (Ricart et al. 2019, 2020). Tal consideración se debe a su gran proyección internacional, capital humano, sistema de transporte integrado y eficiente, desarrollo tecnológico y solidez económica. Su mayor fortaleza es, sobre todo, la innovación tecnológica integrada en la ciudad. Además, se destaca a nivel de movilidad con una estructura integrada de metro/subterráneo, sistema de transporte de trenes y autobuses, y una red futurista que conecta con su aeropuerto principal, las cápsulas de Heathrow (Hopkins & Schwanen, 2018; Phenix, 2014; Potter et al. 2015). La capital británica es líder mundial en política de datos abiertos. Esta es considerada la primera plataforma de datos abiertos que proporcionó acceso a información pública para su uso en el desarrollo de aplicaciones innovadoras (Coleman & Goldstein, 2013; Olleros & Zhegu, 2016; Board, 2013).

Por su parte, Ámsterdam es universalmente reconocida como la primera ciudad inteligente a nivel mundial. Desde 1994 se han publicado artículos relacionados con la Ciudad Digital de Ámsterdam (Angelidou, 2014; Dameri, 2014; Dameri & Cocchia, 2013). Su éxito resulta de un enfoque estrechamente ligado a los principios de desarrollo de la planificación urbana estratégica (Mora & Bolici, 2017). Sin embargo, el desarrollo de la ciudad ha superado varias etapas, a partir de la estrategia de ciudad digital. En primer lugar, el concepto de Ciudad Digital nació cuando se utilizaron las TIC para ayudar a los ciudadanos de Ámsterdam a enfrentarse a las elecciones políticas. En segundo lugar, la ciudad fue pionera en una estrategia para enfrentar la contaminación y el consumo de energía en las zonas urbanas. Finalmente, la ciudad se presenta como un laboratorio vivo urbano que permite a las empresas probar y demostrar productos y servicios innovadores. Tales características permiten crear una infraestructura para el intercambio de conocimiento y aprendizaje entre empresas y ciudadanos. Esta estrategia ha resultado en proyectos particulares centrados en energía sostenible, soluciones innovadoras de salud, mejor movilidad urbana y más participación de los residentes (Meijer & Bolívar, 2016).

Por último, la evidencia sobre la ciudad inteligente de Viena fue reportada por primera vez por Madreiter y Haunold (2012). Además, Anthopoulos (2017) clasificó a Viena en el primer lugar entre 100 ciudades según una combinación de índices que miden la innovación local, el uso de las TIC y la calidad de vida. La 'Estrategia Marco de Ciudad

Inteligente de Viena' tiene tres aspectos 'Calidad de vida', 'Recursos' e 'Innovación'. Estos aspectos estructuran temas específicos y metas asociadas a ellos (Fernandez-Anez et al. 2018). Recientemente, Viena ha conseguido destronar a Melbourne por primera vez en el Índice de Habitabilidad Global, que informa cada año la Unidad de Inteligencia de la revista The Economist. Ambas ciudades han competido durante siete años por el primer lugar, y desde 2018 Viena, junto con una ciudad europea, ha tomado la delantera (BBC, 2016; El Huffington Post, 2019; Velert, 2018). Como en los casos anteriores, la ciudad de Viena también cuenta con numerosos premios: reconocimiento a una de las seis ciudades inteligentes más exitosas de Europa por parte del Parlamento Europeo (2014) (Manville et al. 2014); el Premio Mundial de Ciudades Inteligentes (2016) o líder de la estrategia smart city en 2017 (Zelt, Ibel & Tuncer, 2017).

Tras elegir las tres ciudades europeas de referencia, a continuación, se compara la estrategia de desarrollo de las ciudades inteligentes europeas con la llevada a cabo en España, donde se evalúan tres fases diferenciadas: las dos primeras dentro del Plan Nacional de Ciudades Inteligentes y la última dentro del Plan Nacional de Territorios Inteligentes. Las etapas corresponden a los períodos definidos en las convocatorias públicas de proyectos: licitación pública, ejecución y verificación del cumplimiento de objetivos. La primera etapa corresponde a la Primera convocatoria de proyectos *Smart Cities* que se inició en junio de 2014. Estos proyectos ya han sido ejecutados y, actualmente, se está realizando el estudio de impacto y grado de cumplimiento de los objetivos. La segunda etapa corresponde a la Segunda convocatoria de proyectos *Smart Cities* y la Convocatoria *Smart Islands*, actualmente se encuentran en periodo de ejecución. Finalmente, la tercera fase corresponde a la Convocatoria Destino Turístico Inteligente y la convocatoria de Edificios Inteligentes, que actualmente se encuentran en periodo de licitación (Red.es, 2015, 2017, 2019; BOE, 2018, 2019a, 2019b).

Conclusiones

La evidencia ha demostrado que una ciudad inteligente es primero una ciudad, mientras que la inteligencia es un activo suplementario, que mejora/automatiza las funciones típicas de estas entidades (alumbrado público, transporte, gestión de residuos, etc.) o genera puestos de trabajo y aumenta la satisfacción de los ciudadanos (desde la conciencia del tráfico, la eficiencia energética, la percepción de seguridad ciudadana y de circulación, etc.).

Los conceptos actuales de ciudad inteligente intentan mantener el liderazgo en los proyectos de tecnología urbana enfocados en sus habitantes y sus objetivos como sociedad. En esta contribución, se ha realizado una comparación entre diferentes modelos de implementación considerando todas las acciones identificadas en la literatura y los diez ejes principales de ciudad inteligente: cohesión social, gobernanza, plataforma de ciudad inteligente, planificación urbana, proyección internacional, software, movilidad, tecnología, medio ambiente y capital humano.

Tras analizar las principales ciudades indexadas y clasificadas según sus iniciativas para convertirse en entidades inteligentes, es posible concluir que no existe un modelo de

ciudad inteligente que considere diez ejes recurrentes usados en la planificación de sus acciones. Cada ayuntamiento, o entidad/es de gobierno local, lleva a cabo sus proyectos de transformación en diferentes direcciones y con diferentes grados de desarrollo según sus necesidades específicas o los recursos e infraestructuras ya disponibles.

Junto con este estudio, se ha aportado una visión global de los patrones y pautas de desarrollo de las ciudades inteligentes en España para describir el grado de madurez de los procesos de transformación hacia un modelo consensuado, hasta cierto punto, de ciudades sostenibles e inteligentes. Esta evolución sigue la tendencia esperada y lógica hacia la transformación digital, comenzando por focalizar las acciones en TIC y e-gobernanza (tecnología, software, gobernanza y urbanismo) donde las instalaciones de alumbrado y sus redes de distribución eléctrica tienen un papel recurrentemente predominante en la vertebración, instalación e integración de estos elementos. En el marco de estos programas, las ciudades españolas han centrado sus actuaciones principalmente en la cohesión social, la planificación urbana, la proyección internacional y la implantación tecnológica. Esto refleja un efecto sinérgico del entorno nacional y regional en una clara apuesta por el turismo y la calidad de vida.

3.3.4. Referencia bibliográfica publicación 3.

Orejón-Sánchez R.D., Crespo-García D., Andrés-Díaz J.R. y Gago-Calderón A. Smart cities' development in Spain: comparison of technical and social indicators with reference to European cities. Sustainable Cities and Society. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103828>

Base de datos 2020: JCR/ Factor de Impacto: 7,587 WOS (JCR) / Cuartil: Q1/D1 (4/67 – SCIE Construction & Building Technology)

Resumen

El gobierno de España ha impulsado la evolución de las ciudades españolas hacia su transformación digital, la integración del Internet de las Cosas (IoT) y la mejora de la cohesión social. Sin embargo, esta evolución aún no ha sido analizada o evaluada, y es considerada de gran relevancia puesto que se han destinado más de 200 M€ del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a iniciativas de ciudades inteligentes a través de cinco convocatorias divididas en dos planes nacionales (2014-2020). En esta evaluación se han analizado los proyectos de 61 entidades locales beneficiarias. Las líneas de actuación ejecutadas han sido identificadas y comparadas, mediante indicadores estandarizados (KPIs), con las actuaciones realizadas en las metrópolis europeas consideradas de referencia en materia de ciudad inteligente. Las actuaciones previstas en la última convocatoria del Plan Nacional de Territorios Inteligentes (Edificios Inteligentes) se asemejan mucho a la filosofía del paradigma de última generación de las ciudades inteligentes (enfoque holístico y especialización en temas como el turismo o la edificación inteligente), tras haber transcurrido la primera etapa que centraba las actuaciones en las áreas de tecnología, software y gobernanza inteligente. Este trabajo ofrece una imagen precisa de las prioridades y líneas de progreso de las ciudades inteligentes en cada periodo de la última década y ayuda a técnicos e investigadores a evaluar los proyectos ejecutados y diseñar nuevas líneas de desarrollo.

Palabras clave: Ciudades inteligentes, internet de las cosas (IoT), movilidad inteligente, datos abiertos, Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

Esta hoja se ha dejado intencionadamente en blanco

IV. Otros méritos relacionados con la investigación

4.1. Patente nacional en explotación

4.1.1. Identificación de la patente

Título: Sistema de control punto a punto para instalaciones de luminarias

Número de patente: ES 2752730 B2

Tipo de patente: Nacional en Explotación. ALTECNIA SOLUCIONES, S.L.

Inventores: Alfonso Gago Calderón, Rami David Orejón Sánchez, Jesús Alberto Martín Lara y Juan Antonio Correa Madrona.

Fecha de solicitud: 25/09/2018

Fecha de concesión: 14/07/2021

4.1.2. Resumen de la patente

Un sistema de comunicaciones bidireccional para la generación de una arquitectura de telecontrol punto a punto en instalaciones de alumbrado. Este se basa en la codificación de la información a transmitir en una secuencia de varios ciclos de conmutación de tiempo controlado de la alimentación de los equipos de iluminación conforme a un protocolo predefinido. Esto permite poder mandar información a todas o a alguna luminaria específica de una línea eléctrica con la que, por ejemplo, configurar el modo de trabajo o reprogramar su memoria con nuevos patrones de funcionamiento o preguntar por su estado. Se establece una unidad de control electrónico, a instalar en las luminarias, capaz de decodificar información enviada mediante varios pulsos de encendido y apagado con una duración de tiempo de cada uno de ellos variable que permiten interpretar, secuencialmente y en su conjunto, diferentes comandos, direcciones y datos. También se establece un sistema de realimentación en la estructura de comunicaciones a través de la lectura del consumo eléctrico de la línea de alumbrado; cada luminaria, dotada de la capacidad de regular su nivel de encendido y, por tanto, de su consumo, puede realizar diferentes secuencias de regulación de su funcionamiento, ciclos de diferentes niveles de brillo y duración que pueden ser detectados y decodificados por un medidor de consumo de energía situado en la cabecera de la instalación.

4.2. Capítulo de libro 1

4.2.1. Identificación del capítulo

Título: DC Network Indoor and Outdoor LED Lighting

DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.74974>

Autores: Alfonso Gago Calderón, Rami D. Orejón Sánchez y Manuel J. Hermoso Orzáez

4.2.2. Indicios de calidad

Editorial: IntechOpen

Libro: Light-Emitting Diode (<https://www.intechopen.com/books/6489>)

ISBN: 978-1-78923-751-1

Fecha: 16/03/2018

Citas capítulo (12/11/21): 3 dimension citations y 4 crossref citations

Descargas capítulo (12/11/21): 822

4.2.3. Resumen del capítulo

Los productos de iluminación LED representan una importante revolución en el sector tecnológico. Estos componentes son, por naturaleza, emisores digitales creados con cristales semiconductores que se alimentan con muy baja tensión y corriente continua (CC). En estas condiciones, se han convertido en uno de los actores más relevantes de la tendencia actual que está recuperando la CC como canal de transporte y distribución de energía y está reforzando los paneles fotovoltaicos (PV) como una fuente de energía sostenible, relevante y que permite mejorar la eficiencia de cualquier tipo de instalaciones de alumbrado al considerar la energía autogenerada localmente. En este capítulo se presenta un análisis de los principios de funcionamiento de este componente y el mecanismo implementado para su control como equipo de iluminación para ser alimentado tanto con corriente alterna convencional (CA) como con CC. Se hace una diferenciación específica entre aplicaciones de interior y exterior donde se detallan nuevas normas y reglamentos, procedimientos técnicos específicos y descripciones de proyectos experimentales singulares. Los resultados exponen las ventajas y dificultades de implementación de este nuevo paradigma de DC, la principal conclusión obtenida hasta el momento, y las tendencias de evolución futura.

4.3. Capítulo de libro 2

4.3.1. Identificación del capítulo

Título: Analysis and Risk Management in Projects of Change to Led in Street Lighting According to ISO-21500 and UNE-EN-62198

DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-54410-2_29

Autores: Manuel J. Hermoso Orzáez, Rami D. Orejón Sánchez y Alfonso Gago Calderón.

4.3.2. Indicios de calidad

Editorial: Springer

Libro: Project Management and Engineering Research
(<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-54410-2>)

ISBN: 978-3-030-54409-6

Fecha: 13/11/2020

Citas capítulo (12/11/21): 1 crossref citations

Descargas capítulo (12/11/21): 348

4.3.3. Resumen del capítulo

La tecnología LED se ha consolidado como la principal alternativa para la iluminación en todos los ámbitos (hogar, industrial y vial). Su implantación generalizada está garantizada con excelentes resultados energéticos y gran esperanza de vida y calidad. Los sistemas convencionales de iluminación, incandescencia, fluorescencia, HM (Haluros Metálicos) o VSAP (Vapor de Sodio a Alta Presión) han sido exhaustivamente analizados y estudiados en profundidad. Sin embargo, la repentina irrupción de los LEDs ha generado dudas sobre las consecuencias y sus efectos en personas, animales y plantas, que están asociadas a las características únicas de los LEDs: Su naturaleza electrónica, fuentes de luz puntuales discretas de alta intensidad, emisión direccional, alta energía de radiación (azul 440 nm), etc. Recientemente, estudios han analizado los efectos que pueden tener los LED sobre la salud, la percepción visual o el bienestar de los seres vivos (deslumbramiento, efectos estroboscópicos, procesos de regulación circadiana o enfermedades sistémicas). En este trabajo establecemos mecanismos para observar los resultados de estas investigaciones, analizar y evaluar los riesgos asociados y establecer criterios, lineamientos y componentes para gestionar adecuadamente los procesos de implementación, renovación o reconversión de instalaciones con tecnología LED. Para ello aplicamos los procedimientos de las normas para la gestión de riesgos en proyectos: ISO 21500 y UNE-EN 62198.

4.4. Artículo de revista

4.4.1. Identificación del artículo

Título: Alumbrado público urbano fotovoltaico: análisis de viabilidad técnica, económica y social

Autores: Rami D. Orejón Sánchez y Alfonso Gago Calderón.

4.4.2. Indicadores de calidad

Revista: WPS Review International on Sustainable.

ISSN: 978-84-09-01166-7

DOI: <https://doi.org/10.24310/wps.vi7-8.12118>

Fecha: 28/12/2018

4.4.3. Resumen del artículo

Este trabajo analiza la viabilidad de proyectos consistentes en instalaciones de alumbrado público (AP) alimentadas con energía solar fotovoltaica en base a diferentes criterios. En primer lugar, se plantea un análisis de la capacidad tecnológica existente en este mercado para alumbrado exterior. En segundo lugar, se comparan los requisitos, trabajos necesarios, problemática y costes identificables entre las opciones de planificar y ejecutar el soterramiento del tendido eléctrico y la instalación de nuevas luminarias fotovoltaicas (PV) LED autónomas para cubrir los requisitos normativos exigidos de alumbrado público de calles y vías. Este punto se plantea en base al marco de un caso práctico localizado en un municipio de la Isla de Lanzarote, Las Palmas, con una población en torno a 5.000 habitantes.

El trabajo se completa presentando un estudio estadístico que valora la aceptación social de ciudadanos españoles asociada a este tipo de tecnología en entornos urbanos, desde los aspectos de la mejora de la sostenibilidad urbana, la seguridad de funcionamiento, el impacto visual y la percepción del riesgo de vandalismo.

4.5. Comunicación científica de congreso 1

4.5.1. Identificación de la comunicación

Título: Análisis y gestión de riesgos en proyectos de cambio a LED en alumbrado público conforme norma ISO-21500 y UNE-EN-62198.

Autores: Hermoso-Orzáez, M. J., Gago-Calderón, A., Orejón-Sánchez, R. D.

4.5.2. Indicios de calidad

Congreso: 22rd International Congress on Project Management and Engineering

ISBN- 978-84-09-05132-8

Fecha: 11/07/2018

4.5.3. Resumen de la comunicación:

La tecnología LED es una realidad consolidada como la principal alternativa para iluminación de todos los ámbitos (hogar, industrial y vial). Su implantación generalizada viene avalada con excelentes resultados energético, elevada vida y prestaciones lumínicas de calidad. Los sistemas convencionales de iluminación, incandescencia, fluorescencias, HM o VSAP han sido exhaustivamente analizadas y estudiadas en profundidad. Aunque la irrupción brusca de los LEDs ha traído consigo dudas sobre las consecuencias, problemas derivados, durabilidad y su afección sobre personas, animales y plantas, asociadas a particularidades exclusivas de los LED: naturaleza electrónica, fuentes de luz puntuales discretas de alta intensidad, emisión direccional, radiaciones de alta energía (azul 440 nm), ... Recientemente estudios analizan los efectos de tipo eléctrico derivados de su naturaleza electrónico así como otros que pueden tener sobre la salud, la percepción visual o el bienestar de los seres vivos (deslumbramiento, efectos estroboscópicos, procesos de regulación circadiana o enfermedades sistémicas). En este trabajo establecemos mecanismos para, observando los resultados de estas investigaciones, analizar y valorar riesgos asociados y establecer criterios, pautas y componentes para gestionar adecuadamente procesos de implantación, renovación o reconversión de instalaciones con tecnología LED. Para esto aplicamos los procedimientos de las normas para la gestión de riesgos en proyectos: ISO 21500, ISO 31000 y UNE EN 62198.

Esta hoja se ha dejado intencionadamente en blanco

V. Conclusiones

Conclusiones de las contribuciones

Conclusiones contribución 1:

La primera contribución a la tesis comienza exponiendo una tipología específica de instalaciones de iluminación de alta significancia y relevancia dentro de los entornos urbanos, donde los requisitos lumínicos requeridos alcanzan las máximas exigencias existentes actualmente; Se trata de las instalaciones deportivas de primer nivel, y los citados requerimientos solo son alcanzables, hoy en día, empleando la tecnología de iluminación LED. Estas exigencias han aumentado considerablemente estos últimos años tras el creciente interés de los países asiáticos en adquirir los derechos audiovisuales de las principales competiciones de fútbol europeas, creando un escenario en el que los niveles de demanda de prestaciones lumínicas han aumentado considerablemente en virtud de su influencia directa en la calidad de imagen retransmitida, especialmente apreciable en retransmisiones en ultra alta definición o 4K.

En concreto, el primer parámetro que debemos considerar es el VEEI (Valor de Eficiencia Energética en las Instalaciones), superior al resto de tecnologías debido al número de lúmenes por vatio que las luminarias LED son capaces de generar, que unido al carácter direccional de sus emisiones y la capacidad de ajuste a través de lentes concentradoras con graduaciones de haz que alcanzan los 5°, se consigue un ahorro energético de hasta un 80%.

Otro parámetro a tener en cuenta es el “*flicker*” o parpadeo, requisito crucial en las retransmisiones televisivas en alta definición y 4K ya que afecta de forma directa al uso de cámaras superlentas. Por último, cabe mencionar la desaparición de los tiempos de encendido o rearme en caso de fallo, pues la naturaleza de estado sólido de los LEDs permite alcanzar el 100% de la intensidad de iluminación del equipo en menos de un segundo, tanto con arranque en frío como en caliente. Funcionalmente, en caso de corte de energía, la iluminación LED puede estar completamente activa cuando se recupera la energía eléctrica, mientras las lámparas de descarga de alta intensidad requieren un tiempo de encendido de 3-5 minutos para las de halogenuros metálicos y de hasta 10-12 minutos para lámparas de vapor de sodio en caso de arranque en frío. Además, hay que añadir que, si las lámparas estuvieran encendidas, se requiere un tiempo mínimo de enfriamiento antes de que puedan reconectarse, con el fin de bajar la tensión de arranque de los gases para que se adapte a la capacidad de generación de sus equipos auxiliares (balastos), que normalmente requieren un tiempo adicional de 2 a 8 minutos para la última generación de lámparas de alta densidad de descarga. Estos tiempos son totalmente inaceptables para los estrictos horarios marcados por las cadenas de televisión que retransmiten eventos en directo.

Tras realizar un análisis del marco normativo de las competiciones deportivas de alto nivel, en concreto la normativa relativa a requisitos de iluminación exigidos actualmente se comprueba como LaLiga se posiciona como la competición deportiva que presenta los requerimientos más estrictos por lo que es la competición elegida como referente.

Con respecto al diseño lumínico, se concluye que resulta inviable iluminar estadios de alto nivel únicamente con luminarias en las esquinas, si se tiene un diseño simétrico se podrá iluminar un mismo punto desde múltiples ubicaciones alcanzando la máxima uniformidad horizontal y vertical. En concreto, la iluminación más eficiente corresponde a una distribución de luminarias en forma de óvalo. En virtud de los casos prácticos expuestos, se comprueba como este tipo de instalaciones suponen para los ingenieros encargados del diseño lumínico un nuevo reto que eleva al máximo las exigencias y por consiguiente la dificultad de cálculo, puesto que en la mayoría de los casos se supera el millar de puntos de luz, teniendo en cuenta que cada punto de luz tiene una ubicación (x, y, z), dirección y sentido, esto se traduce en que cada luminaria tendrá una coordenada en el espacio, una inclinación y rotación. El futuro cercano de todos los estadios profesionales parece que seguirá la línea marcada por las remodelaciones o construcciones más recientes que actúan como referentes actuales de los proyectos de remodelación en fase de proyecto o en curso de otros importantes recintos deportivos.

Todo lo anterior nos permite establecer que la tecnología de iluminación LED desde el punto de vista del ahorro y la eficiencia energética resulta la solución más ventajosa (ahorro energético de hasta el 80%), pudiendo repercutir de manera considerable en las partidas presupuestarias de las administraciones públicas (administraciones locales de pequeño y mediano tamaño llegan a destinar hasta el 80% de su conjunto presupuestario destinada a suministros para este fin), además de aportar otras mejoras como la mejora del confort visual, flexibilidad en el diseño, etc.

Conclusiones contribución 2:

La segunda contribución a la tesis analiza la viabilidad técnica y económica, la sostenibilidad y la aceptación social de los proyectos de alumbrado público que emplean energías renovables como suministro energético. En el artículo se expone un estudio estadístico que valora la aceptación social de este tipo de tecnologías en entornos urbanos de los ciudadanos españoles, desde los aspectos de mejora urbanística, sostenibilidad, seguridad operativa, impacto visual y percepción de riesgo de vandalismo.

Los autores de la contribución concluyen en que las instalaciones de alumbrado público fotovoltaico urbano son técnica, económica y socialmente viables en virtud de los resultados obtenidos.

El análisis de viabilidad técnica, realizado en el contexto de un caso práctico, permite visualizar la instalación y comprobar que la tecnología propuesta cumple los requisitos normativos. Este estudio se contrasta con el análisis de los concursos públicos en España,

donde se comprueba cómo las luminarias solares LED empiezan a ganar protagonismo en los últimos años.

Por otro lado, en el estudio de viabilidad económica, se determina que es un 44% más viable realizar una instalación de iluminación LED fotovoltaica respecto a una instalación de iluminación LED convencional, conectada a la red de corriente alterna y adaptada a la normativa vigente mediante la canalización subterránea del suministro eléctrico. Esto es especialmente significativo en zonas aisladas o sin acceso a la electricidad (cabe mencionar que actualmente, 1.300 millones de personas, el 20% de la población mundial, no tienen acceso a una red de distribución de energía eléctrica en sus hogares; en África subsahariana, este valor se eleva hasta casi el 70%). Las exigencias medioambientales, la creciente apuesta internacional por el uso de fuentes de energía renovables y la probada viabilidad de la tecnología de iluminación fotovoltaica LED hacen que las previsiones sean esperanzadoras a favor de esta tecnología.

Finalmente, del estudio de viabilidad social se concluye que la mayoría de la población es consciente del problema en la conducción de la electricidad y, a su vez, el 89% considera una solución sostenible y adecuada que la instalación de alumbrado se renueve siendo alimentada exclusivamente por energía solar fotovoltaica. Además, la mayoría de los encuestados valora como problemático el hecho de que en condiciones ambientales desfavorables continuadas se pueda bajar la intensidad de la iluminación para garantizar el servicio y más de la mitad considera que el problema del vandalismo se puede agravar.

Esta segunda contribución pone de manifiesto como las instalaciones alumbrado público añaden una nueva vía de irrupción de las fuentes de energía renovable en las ciudades, en este caso se analiza la energía solar fotovoltaica por su adaptación más flexible al entorno urbano, esto contribuye en gran medida a evolucionar las ciudades hacia la sostenibilidad. Si en la contribución anterior nos centrábamos en la eficiencia energética, ahora partiendo de la instalación más eficiente (que emplea tecnología de iluminación LED), analizamos si es viable que sea energéticamente autónoma (pasando ahora de un ahorro potencial del 80% con la tecnología LED, a un 100% con la tecnología LED alimentada con energía solar).

Conclusiones contribución 3:

La tercera contribución analiza el desarrollo de las ciudades inteligentes en España, comparándolas, a partir de indicadores técnicos y sociales con las principales ciudades de referencia en Europa. Las evidencias mostraron que la ciudad inteligente es primero una ciudad, mientras que la inteligencia es otro activo, que mejora/automatiza las funciones típicas (transporte, gestión de residuos, etc.) o genera empleos y aumenta la satisfacción de los ciudadanos (a partir de la concienciación sobre el tráfico, la eficiencia energética, etc.). En el artículo, se ha realizado una comparación entre diferentes modelos de implementación de ciudad inteligente considerando todas las acciones identificadas en la literatura y los diez ejes principales definidos para una ciudad inteligente: cohesión social,

gobernanza, plataforma de ciudad inteligente, planificación urbana, proyección internacional, software, movilidad, tecnología, medio ambiente y capital humano.

Tras analizar las principales ciudades inteligentes tanto a nivel europeo como nacional, podemos concluir que no existe un modelo de ciudad inteligente que considere todos los ejes en la planificación de sus actuaciones. Cada organismo gestor de las ciudades lleva a cabo sus proyectos de transformación en diferentes direcciones y con diferentes grados de desarrollo según sus necesidades específicas o los recursos disponibles.

Junto con este estudio, se ha aportado una visión global del desarrollo de las ciudades inteligentes en España para describir el grado de madurez de los procesos de transformación hacia ciudades sostenibles e inteligentes. Esta evolución sigue la tendencia esperada y lógica hacia la transformación digital, comenzando por focalizar las acciones en TIC y e-gobernanza (tecnología, software, gobernanza y urbanismo). En el marco de estos programas, las ciudades españolas han centrado sus actuaciones principalmente en la cohesión social, la planificación urbana, la proyección internacional y la implantación tecnológica. Esto refleja un efecto sinérgico del entorno nacional y regional en una clara apuesta por el turismo y la calidad de vida.

Tras analizar la eficiencia energética y la sostenibilidad en las dos primeras contribuciones, ahora nos enfocamos en la inteligencia, donde se comprueba como las instalaciones de alumbrado, además de poseer su propia inteligencia (*smart lighting*), pueden servir de base como red de comunicaciones además de proporcionar un soporte estructural para el despliegue de los principales dispositivos TIC presentes en las ciudades inteligentes: cámaras de control de afluencia, sensores medioambientales, puntos de acceso wifi, etc.

Conclusiones generales de la tesis

Las ciudades inteligentes tienen objetivos sociales trascendentes, como la sostenibilidad y la calidad de los servicios a los ciudadanos, mediante la aplicación de la tecnología para conseguir mejorar la eficiencia energética de las instalaciones requeridas, mejorar el acceso a estos servicios y en general, mejorar la calidad de vida de la sociedad. La ilustración 6 permite visualizar de forma gráfica el hilo argumental que enlaza las tres contribuciones de la presente tesis. Se comprueba como la iluminación está presente en las principales fases de desarrollo de la evolución urbana: eficiencia energética, sostenibilidad y uso de fuentes de energía renovable e inteligencia urbana.

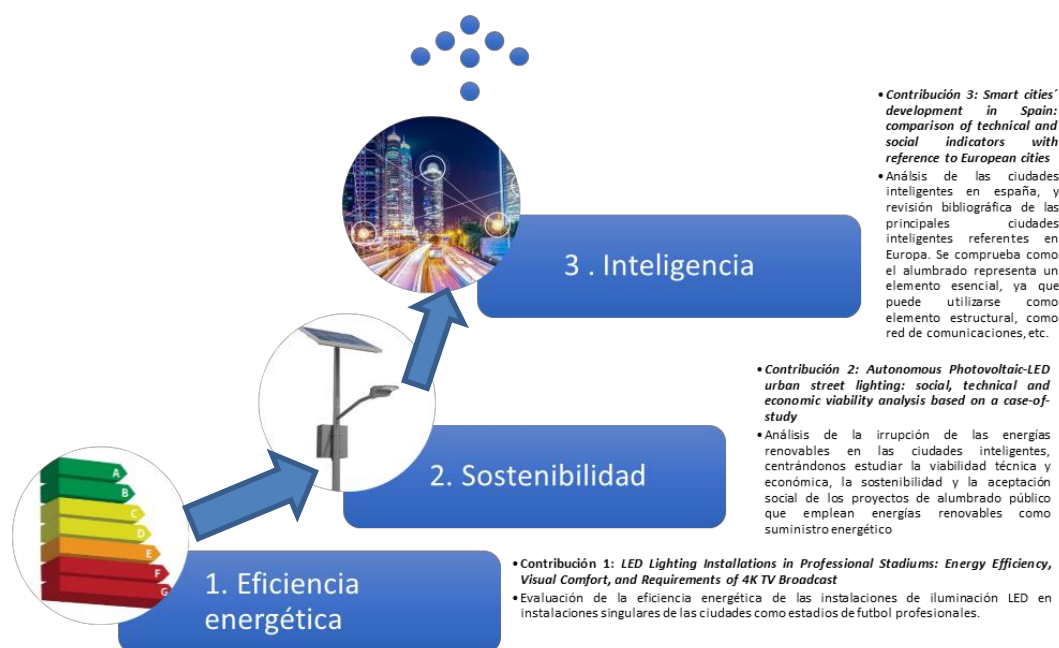


Ilustración 6: Hilo argumental de las contribuciones de la tesis

La presente tesis analiza la evolución de las ciudades desde los modelos convencionales de finales del siglo XX hacia los paradigmas de ciudades inteligentes conduciendo la investigación a través de sus instalaciones de alumbrado, usadas como uno de los principales motores que ha impulsado su exponencial desarrollo. Las contribuciones presentadas nos permiten comprobar como estas infraestructuras de iluminación juegan un papel fundamental en el desarrollo del concepto de una *smart city*. En primer lugar por su presencia en cualquier núcleo de población, pues las instalaciones de iluminación se despliegan lo largo de todo el perímetro urbano, influyendo de forma directa en el desarrollo y uso de sus calles, y suponen, sobre todo en administraciones locales de pequeño y mediano tamaño, un importante porcentaje de su partida presupuestaria destinada a suministros (consumo energético) o en su partida presupuestaria anual (renovaciones o diseño e implantación de nuevas instalaciones de alumbrado). Además, podemos asociar estas instalaciones de iluminación a puntos neurálgicos o muy representativos de una ciudad como los campos de fútbol profesional, fachadas de edificios históricos, monumentos arqueológicos, fuentes, plazas, etc., espacios generalmente de grandes dimensiones, abiertos y con unos requisitos lumínicos cada vez

más exigentes. Estas exigencias, tal y como se expone en las contribuciones de la tesis, hoy en día solo son alcanzables empleando luminarias basadas en tecnología de iluminación LED.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, es interesante analizar la irrupción de las energías renovables en las ciudades inteligentes con la premisa de acercarlas al escenario ideal de la autosuficiencia, donde se comprueba como la energía solar fotovoltaica parece haber tomado la delantera gracias a su capacidad de adaptación a las estructuras de estas entidades: en tejados de edificios, en aparcamientos para la recarga de vehículos eléctricos, en mástiles para proporcionar suministro eléctrico a dispositivos *IoT* o en las instalaciones de alumbrado público.

Por otra parte, cabe destacar el potencial rol como estructura de comunicaciones (LPWAN, 3G/4G/5G, Zigbee, PLC, etc.) que puede proporcionar la infraestructura *hardware* de la instalación alumbrado público, al tratarse de una red mallada homogénea y constante a lo largo de la ciudad. Además de estructura de comunicaciones, podemos utilizarla como soporte estructural (mástiles, columnas o brazos de las luminarias) para desplegar otros servicios e interconectar más infraestructuras como sensores meteorológicos, sistemas control de aforo, sistemas de video vigilancia, etc.

Por último, dentro de los otros méritos relacionados con la investigación, se analiza la naturaleza electrónica de la tecnología LED y su viabilidad dentro de las instalaciones de corriente continua y, finalmente, se exponen las conclusiones obtenidas durante el desarrollo de la Patente Nacional, en explotación: “Sistema de control punto a punto para instalaciones de luminarias”, con número de publicación 2752730, que tiene por objeto la invención de un sistema de control y gestión de instalaciones de alumbrado con el propósito de mejorar aspectos de rentabilidad y fiabilidad de las mismas. El sistema se basa en la codificación de la información a transmitir en una secuencia de varios ciclos de conmutación de tiempo controlado de la alimentación de los equipos de iluminación, conforme a un protocolo predefinido. Esto permite poder enviar información a todas o a alguna luminaria específica de una línea eléctrica con la que, por ejemplo, se podría configurar el modo de trabajo, reprogramar su memoria con nuevos patrones de funcionamiento o preguntar por su estado (consumo eléctrico, programa de funcionamiento, etc.). Se establece una unidad de control electrónico a instalar en cada luminaria, capaz de decodificar información enviada mediante varios pulsos de encendido y apagado, con una duración de tiempo de cada uno de ellos variable que permiten interpretar, secuencialmente y en su conjunto, diferentes comandos, direcciones y datos. También se establece un sistema de realimentación en la estructura de comunicaciones a través de la lectura del consumo eléctrico de la línea de alumbrado; cada luminaria, dotada de la capacidad de regular su nivel de encendido y, por tanto, de su consumo, puede realizar diferentes secuencias de regulación de su funcionamiento, ciclos de diferentes niveles de brillo y duración que pueden ser detectados y decodificados por un medidor de consumo de energía situado en la cabecera de la instalación.

VI. Líneas de investigación futuras

Como en cualquier trabajo o proyecto de investigación que contribuye a aportar valor y conocimiento sobre un tema concreto y de manera paralela a su desarrollo, se generan nuevas líneas de investigación o líneas de trabajo para futuros estudios.

El futuro de las ciudades inteligentes parece haber trazado una línea de desarrollo clara en base al contexto de pandemia de COVID-19 actual, y es brindar una respuesta a las amenazas urbanas emergentes empleando los servicios de ciudades inteligentes existentes.

El COVID-19 ha evidenciado las debilidades y fortalezas de las grandes urbes y ha puesto sobre la mesa el debate sobre las posibles vulnerabilidades de las ciudades ante amenazas urbanas, quedando patente que los proyectos de ciudades inteligentes se han posicionado como una herramienta eficaz para la prevención y el control de pandemias. Este acontecimiento ofrece una oportunidad sin precedentes para comprender cómo las ciudades pueden verse afectadas por las amenazas urbanas y qué acciones se necesitan para minimizar los impactos y mejorar la resiliencia.

Otra línea de investigación posible se centra en el uso de las infraestructuras de las instalaciones de iluminación solar alimentadas con energía solar fotovoltaica ubicadas en zonas remotas o sin acceso a la electricidad, para emplearlas como elemento estructural y como nodo de comunicaciones para instalar dispositivos *IoT* tales como *gateways LPWAN*, cámaras de detección de incendios, sistemas de conteo de personas, etc. Puesto que, actualmente, para instalar estos dispositivos en zonas sin acceso a la electricidad es necesario el diseño de una instalación solar aislada, que en muchos casos resulta inviable desde el punto de vista económico (la instalación solar abarca, en ocasiones, un presupuesto mayor que la del propio dispositivo *IoT*) y de la seguridad de la instalación (en instalaciones de iluminación solar, el panel fotovoltaico, regulador y batería se sitúan junto a la luminaria reduciendo al máximo posibles actos vandálicos).

Por otra parte, cabe mencionar el potencial de las instalaciones de iluminación solar alimentadas con energía solar fotovoltaica para su uso en áreas con una densidad de población baja, zonas residenciales con viviendas de una o dos plantas (principalmente por las sombras que puedan generar las propias viviendas, árboles o mobiliario urbano). Es una línea de investigación muy interesante para proyectos de expansión contemplados en los planes de ordenación urbana de los ayuntamientos, pues además del importante ahorro energético a las arcas municipales, se simplifica la instalación al no ser necesario una línea de alimentación eléctrica que, además, en ocasiones, condiciona el diseño de las calles, plazas, etc.

Por último, dejando a un lado la sostenibilidad y la eficiencia energética, otra de las mejoras que pueden aportar las instalaciones de iluminación a las ciudades se centra en aspectos de seguridad y confort visual.

El alumbrado público, cambia nuestra manera de trabajar y nuestro estilo de vida. A través de la iluminación, se realza el patrimonio histórico de las ciudades y se genera un sentimiento de pertenencia. En esta línea y para dar respuesta a los desafíos de las ciudades se han diseñado diferentes soluciones de iluminación decorativa, que destacan por su estética refinada, su versatilidad y robustez adaptándose a cualquier entorno. Soluciones que ofrecen la máxima eficiencia sin renunciar al diseño. En este sentido adquieren especial relevancia parámetros lumínicos como el Índice Reproducción Cromática (IRC o CRI en inglés), que indica la exactitud con la que la luz artificial muestra los colores de los objetos.

Esta hoja se ha dejado intencionadamente en blanco

Bibliografía

- 1) Abdelkareem, M. A., Elsaid, K., Wilberforce, T., Kamil, M., Sayed, E. T., & Olabi, A. (2021). Environmental aspects of fuel cells: A review. *Science of The Total Environment*, 752, 141803.
- 2) Adhikari, S. P., Meng, S., Wu, Y. J., Mao, Y. P., Ye, R. X., Wang, Q. Z., & Zhou, H. (2020). Epidemiology, causes, clinical manifestation and diagnosis, prevention and control of coronavirus disease (COVID-19) during the early outbreak period: a scoping review. *Infectious diseases of poverty*, 9(1), 1-12.
- 3) Al Sharif, R., & Pokharel, S. (2021). Smart City Dimensions and Associated Risks: Review of literature. *Sustainable Cities and Society*, 103542.
- 4) Alliance for Rural Electrification (ARE). Rural Electrification with Renewable Energy: Technologies, Quality Standards and Business Models. Alliance for Rural Electrification, Brussels, Belgium, 2018. Available online: https://www.ruralelec.org/sites/default/files/are_technological_publication_0.pdf (Accessed on 12-08-21).
- 5) Almuraqab, N. A. S. (2021). Introduction to the critical success factors of E-government adoption of the utilization of emerging smart cities technologies. In *Solving Urban Infrastructure Problems Using Smart City Technologies* (pp. 3-15). Elsevier.
- 6) Angelidou, M. (2014). Smart city policies: A spatial approach. *Cities*, 41, S3–S11. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2014.06.007>
- 7) Anthopoulos, L. (2017). Smart utopia VS smart reality: Learning by experience from 10 smart city cases. *Cities*, 63, 128-148.
- 8) Anthopoulos, L. (2017). Smart utopia VS smart reality: Learning by experience from 10 smart city cases. *Cities*, 63, 128–148. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.10.005>
- 9) Anttiroiko, A. V., Valkama, P., & Bailey, S. J. (2014). Smart cities in the new service economy: building platforms for smart services. *AI & society*, 29(3), 323-334.
- 10) Bareschino, P., Mancusi, E., Urciuolo, M., Paulillo, A., Chirone, R., & Pepe, F. (2020). Life cycle assessment and feasibility analysis of a combined chemical looping combustion and power-to-methane system for CO2 capture and utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 109962.
- 11) Battaglini, A.; Komendantova, N; Brtnik, P.; Patt, A. Perception of Barriers for Expansion of Electricity Grids in the European Union. *Energy Policy* 2012. 47, 254-59. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.065>
- 12) Bauer, M., Glenn, T., Monteith, S., Gottlieb, J. F., Ritter, P. S., Geddes, J., & Whybrow, P. C. (2018). The potential influence of LED lighting on mental illness. *The World Journal of Biological Psychiatry*, 19(1), 59-73.
- 13) BBC. (2016). Por qué Viena es la ciudad “con mejor calidad de vida” del mundo y Montevideo la mejor de América Latina. *BBC News Mundo*.

https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/02/160223_viena_ciudadades_calida_d_am

- 14) Beirman, D. (2006). A Comparative Assessment of Three Southeast Asian Tourism Recovery Campaigns: Singapore Roars: Post SARS 2003, Bali Post—the October 12, 2002 Bombing, and WOW Philippines 2003. In *Tourism, security and safety* (pp. 257-275). Routledge.
- 15) Board, S. L. (2013). Smart London Plan: Using the creative power of new technologies to serve London and improve Londoners' lives. Tech. Rep.
- 16) BOE. (2018). BOE.es—Documento BOE-B-2018-47787. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-B-2018-47787
- 17) BOE. (2019a). BOE.es—Documento BOE-B-2019-12264. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?lang=eu&id=BOE-B-2019-12264
- 18) BOE. (2019b). BOE.es—Documento BOE-B-2019-17594. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?lang=va&id=BOE-B-2019-17594
- 19) Breyer, C, Bogdanov, D, Gulagi, A, Aghahosseini, A, Barbosa, LS, Koskinen, O y Farfan, J. (2017). On the role of solar photovoltaics in global energy transition scenarios. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 25(8), 727-745.
- 20) Brock, K., den Ouden, E., van der Klauw, K., Podoynitsyna, K., & Langerak, F. (2019). Light the way for smart cities: Lessons from Philips Lighting. *Technological Forecasting and Social Change*, 142, 194-209.
- 21) Camero, A., & Alba, E. (2019). Smart City and information technology: A review. *Cities*, 93, 84–94. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.014>
- 22) Caminos, J. (2011). *Criterios de diseño en iluminación y color*. Santa Fe, edUTecNe.
- 23) Carli, R., Dotoli, M., & Cianci, E. (2017). An optimization tool for energy efficiency of street lighting systems in smart cities. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 14460-14464.
- 24) Cherry, J. D. (2004). The chronology of the 2002–2003 SARS mini pandemic. *Paediatric respiratory reviews*, 5(4), 262-269.
- 25) Cho, Y., Jeong, H., Choi, A., & Sung, M. (2019). Design of a connected security lighting system for pedestrian safety in smart cities. *Sustainability*, 11(5), 1308.
- 26) Coleman, E., & Goldstein, B. (2013). Lessons from the London Datastore. *Beyond Transparency: Open Data and the Future of Civic Innovation*, 39–50.
- 27) Congresotec. (2018). NUEVAS TECNOLOGÍAS ILUMINACIÓN DE ESTADIOS DE FÚTBOL. Congreso nacional de eficiencia energética y sostenibilidad en instalaciones deportivas. Retrieved from <https://congresotec.es/wp-content/uploads/2018/05/17.-RETRANSMISION-LA-LIGA.pdf>
- 28) Coşkun, H., Yıldırım, N., & Gündüz, S. (2021). The spread of COVID-19 virus through population density and wind in Turkey cities. *Science of the Total Environment*, 751, 141663.
- 29) Costa, D. G., & Peixoto, J. P. J. (2020). COVID-19 pandemic: A review of smart cities initiatives to face new outbreaks. *IET Smart Cities*, 2(2), 64-73.

- 30) Curtin, J., McInerney, C., Gallachóir, B. Ó., Hickey, C., Deane, P., & Deeney, P. (2019). Quantifying stranding risk for fossil fuel assets and implications for renewable energy investment: a review of the literature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116, 109402.
- 31) D'Andrea, A. (2021). Impacto estratégico de la nanotecnología en la sociedad presente y futura. *Revista Electrónica De Divulgación De Metodologías Emergentes En El Desarrollo De Las STEM*, 3(1), 43-55. Recuperado a partir de <http://www.revistas.unp.edu.ar/index.php/rediunp/article/view/200>
- 32) Dameri, R., & Cocchia, A. (2013). Smart city and digital city: Twenty years of terminology evolution. 1–8.
- 33) Dameri, R. P. (2014). Comparing Smart and Digital City: Initiatives and Strategies in Amsterdam and Genoa. Are They Digital and/or Smart? In R. P. Dameri & C. Rosenthal-Sabroux (Eds.), *Smart City: How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space* (pp. 45–88). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06160-3_3
- 34) Dameri, R. P., & Cocchia, A. (2013). Smart city and digital city: twenty years of terminology evolution. In X Conference of the Italian Chapter of AIS, ITAIS (pp. 1-8).
- 35) De Paz, J. F., Bajo, J., Rodríguez, S., Villarrubia, G., & Corchado, J. M. (2016). Intelligent system for lighting control in smart cities. *Information Sciences*, 372, 241-255.
- 36) Deepika, J., & Gokulraj, J. (2021). Internet of Things Device Enabled Smart Home Integrated Architecture with Security Services. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(6), 2614-2623.
- 37) Desdemoustier, J., Crutzen, N., Cools, M., & Teller, J. (2019). Smart City appropriation by local actors: An instrument in the making. *Cities*, 92, 175-186.
- 38) Diewald, W. (2004). Nuevas posibilidades de iluminación con LED. *Técnica Industrial. Especial Electricidad y Electrónica*, 42-44.
- 39) El Huffington Post. (2019). Esta es la mejor ciudad del mundo para vivir en 2019. El Huffington Post. https://www.huffingtonpost.es/entry/viena-es-la-mejor-ciudad-del-mundo-para-vivir-en-2019_es_5cb42b48e4b082aab088088f
- 40) Fernández-Áñez V., Fernández-Guell, J. M., Giffinger, R., & Polletti, A. (2018). Ciudad inteligente y visión integrada: Barcelona, Milán y Viena. ESMARTCITY. <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/comunicación-ciudad-inteligente-vision-integrada-barcelona-milan-viena>
- 41) Fernandez-Anez, V. (2016, June). Stakeholders approach to smart cities: A survey on smart city definitions. In *International conference on smart cities* (pp. 157-167). Springer, Cham.
- 42) FIFA. (2011). Estadios de fútbol Recomendaciones técnicas y requisitos. 5.a edición.
- 43) Football NSW. (2015). Football Lighting: A guide to effective sports lighting for football (No. Version 1, issued 6). Retrieved from <https://footballfacilities.com.au/football-lighting/>

- 44) Fraguas, Facundo (2019). Energía nuclear en el mundo: estado del arte y proyecciones futuras (tesis de maestría). Universidad de Buenos Aires. Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energética [consultado: 7/10/2021] Disponible en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires: <https://www.ceare.org/tesis/2019/tes46.pdf>
- 45) Gago A, Fraile J. (2012). Iluminación con tecnología LED. Ediciones Paraninfo S. A.
- 46) Gago-Calderón, A., Orejón-Sánchez, R. D., & Hermoso-Orzáez, M. J. (2018). DC Network Indoor and Outdoor LED Lighting. Light-Emitting Diode-An Outlook on the Empirical Features and Its Recent Technological Advancements, 15-35.
- 47) Galloway, A. (2004). Intimations of everyday life: Ubiquitous computing and the city. *Cultural studies*, 18(2-3), 384-408.
- 48) Gao, Y., Cheng, Y., Zhang, H., & Zou, N. (2019). Dynamic illuminance measurement and control used for smart lighting with LED. *Measurement*, 139, 380-386.
- 49) Gil-de-Castro, A., Rönnberg, S. K., & Bollen, M. H. J. (2017). Light intensity variation (flicker) and harmonic emission related to LED lamps. *Electric Power Systems Research*, 146, 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.01.026>
- 50) Gustavsson, L., Nguyen, T., Sathre, R., & Tettey, U. Y. A. (2021). Climate effects of forestry and substitution of concrete buildings and fossil energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136, 110435.
- 51) Gutierrez, J. J., Saiz, P., Azcarate, I., Leturiondo, L. A., Redondo, K., Ruiz de Gauna, S., & Gonzalez-Otero, D. M. (2017). Sensitivity of modern lighting technologies at varying flicker severity levels. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 92, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.04.010>
- 52) Gutierrez-Escolar, A., Castillo-Martinez, A., Gomez-Pulido, J. M., Gutierrez-Martinez, J. M., Stapic, Z., & Medina-Merodio, J. A. (2015). A study to improve the quality of street lighting in Spain. *Energies*, 8(2), 976-994.
- 53) Halegoua, G. (2020). 3 SMART CITY TECHNOLOGIES.
- 54) Hall, R. E., Bowerman, B., Braverman, J., Taylor, J., Todosow, H., & Von Wimmersperg, U. (2000). The vision of a smart city (No. BNL-67902; 04042). Brookhaven National Lab. (BNL), Upton, NY (United States).
- 55) Hidalgo, D., & Martín-Marroquín, J. M. (2020). Power-to-methane, coupling CO2 capture with fuel production: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, 110057.
- 56) Hopkins, D., & Schwanen, T. (2018). Governing the Race to Automation. In M. Greg & R. Louise (Eds.), *Governance of the Smart Mobility Transition* (pp. 65–84). Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/978-1-78754-317-120181005>
- 57) Hu, J., Harmsen, R., Crijns-Graus, W., Worrell, E., & van den Broek, M. (2018). Identifying barriers to large-scale integration of variable renewable electricity into the electricity market: A literature review of market design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2181-2195.

- 58) Hussain, A., Arif, S. M., & Aslam, M. (2017). Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 12-28.
- 59) Hyder, F.; Sudhakar, K.; Mamat, R. Solar PV Tree Design: A Review. *Renew. Sustain. Energy Rev* 2018. 82, 1079-96.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.025>
- 60) International Electrotechnical Commission. (1990). *International Electrotechnical Vocabulary*, Chapter 161: Electromagnetic Compatibility (replaces IEC 60050 (902) (1973)). ICS 01.040, 29.
- 61) J.E. Nichol, M. Bilal, A.M. Ali, Z. Qiu. (2020) Air pollution scenario over China during COVID-19. *Remote Sens. Basel.*, 12 (13).
- 62) Jaiswal, R., Agarwal, A., & Negi, R. (2020). Smart solution for reducing the COVID-19 risk using smart city technology. *IET Smart Cities*, 2(2), 82-88.
- 63) Jang, M., & Suh, S. T. (2010, March). U-city: new trends of urban planning in Korea based on pervasive and ubiquitous geotechnology and geoinformation. In *International conference on computational science and its applications* (pp. 262-270). Springer, Berlin, Heidelberg.
- 64) Jara Gavilán, J. C. (2018). Análisis del uso de la reforestación y la regeneración natural en zonas degradadas de la Amazonía Peruana. Jara Gavilán, J. C. (2018).
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3207>
- 65) Jiménez, A. G. (2020). Mejora de la eficiencia energetica de ciudades inteligentes aplicando tecnicas de soft computing (Tesis Doctoral, Universidad de Alcalá).
- 66) Kaliannan, M., Awang, H., & Raman, M. (2007, December). Technology adoption in the public sector: an exploratory study of e-government in Malaysia. In *Proceedings of the 1st international conference on Theory and practice of electronic governance* (pp. 221-224).
- 67) Karytsas, S., & Chorapanitis, I. (2017). Barriers against and actions towards renewable energy technologies diffusion: A Principal Component Analysis for residential ground source heat pump (GSHP) systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 252-271.
- 68) Katagiri, Y., Bono, M., & Suzuki, N. (2004, April). Capturing conversational participation in a ubiquitous sensor environment. In *Pervasive 2004 Workshop on Memory and Sharing of Experiences* (pp. 101-106).
- 69) Khan, H., Kushwah, K. K., Singh, S., Urkude, H., Maurya, M. R., & Sadasivuni, K. K. (2021). Smart technologies driven approaches to tackle COVID-19 pandemic: a review. *3 Biotech*, 11(2), 1-22.
- 70) Kim, C. (2010). Place promotion and symbolic characterization of new Songdo City, South Korea. *Cities*, 27(1), 13-19.
- 71) Kim, J. (2022). Smart city trends: A focus on 5 countries and 15 companies. *Cities*, 123, 103551.
- 72) Kim, Y. M., Kim, H. S., Moon, S. Y., & Bae, S. Y. (2009). Ubiquitous eco-city planning in Korea. A project for the realization of ecological city planning and ubiquitous network society. na.

- 73) Kitchin, R. (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10708-013-9516-8>
- 74) Kwon, J. W., Park, Y. M., Koo, S. J., & Kim, H. (2007, November). Design of air pollution monitoring system using ZigBee networks for ubiquitous-city. In 2007 International Conference on Convergence Information Technology (ICCIT 2007) (pp. 1024-1031). IEEE.
- 75) L. Menut, B. Bessagnet, G. Siour, S. Mailler, R. Pennel, A. (2020). Cholakian. Impact of lockdown measures to combat Covid-19 on air quality over western Europe *Sci. Total Environ.*, 741.
- 76) LaLiga. (2016a). INFORME CUMPLIMIENTO NORMAS ILUMINACIÓN Y SUMINISTRO DE ENERGÍA SEGÚN EL REGLAMENTO PARA LA RETRANSMISIÓN TELEVISIVA DE LALIGA. ESTADIO LOS CARMENES (GRANADA).
- 77) LaLiga. (2016b). INFORME CUMPLIMIENTO NORMAS ILUMINACIÓN Y SUMINISTRO DE ENERGÍA SEGÚN EL REGLAMENTO PARA LA RETRANSMISIÓN TELEVISIVA DE LALIGA. ESTADIO MENDIZORROTZA (VITORIA-GASTEIZ).
- 78) LaLiga. (2016c). Reglamento para la Retransmisión Televisiva. Retrieved from https://files.laliga.es/descargables/reglamento_retransmision_tv.pdf
- 79) Lee, J., & Lee, H. (2014). Developing and validating a citizen-centric typology for smart city services. *Government Information Quarterly*, 31, S93-S105.
- 80) Lee, S. H., Han, J. H., Leem, Y. T., & Yigitcanlar, T. (2008). Towards ubiquitous city: concept, planning, and experiences in the Republic of Korea. In *Knowledge-based urban development: Planning and applications in the information era* (pp. 148-170). Igi Global.
- 81) Leem, Y., Han, H., & Lee, S. H. (2019, July). Sejong smart city: On the road to be a city of the future. In *International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management* (pp. 17-33). Springer, Cham.
- 82) Lombardi, P., Giordano, S., Caragliu, A., Del Bo, C., Deakin, M., Nijkamp, P., & Kourtit, K. (2011). An advanced triple-helix network model for smart cities performance. [Http://degree.ubvu.vu.nl/repec/vua/wpaper/pdf/20110045.pdf](http://degree.ubvu.vu.nl/repec/vua/wpaper/pdf/20110045.pdf).
- 83) Lu, H., Stratton, C. W., & Tang, Y. W. (2020). Outbreak of pneumonia of unknown etiology in Wuhan, China: The mystery and the miracle. *Journal of medical virology*, 92(4), 401.
- 84) Madreiter, T., & Haunold, V. (2012). Smart city Vienna: Sustainable success. (Pp. 35–40). Austria, Vienna: Schmid Verlag.
- 85) Manville C., Cochrane G., Cave J., Millard J., Pederson J. K., Thaarup R.K., Liebe A., Wissner M., Massink R., & Kotterink B. (2014). Mapping smart cities in the EU. European Parliament. Policy Department, Economic and Scientific Policy. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOL-ITRE_ET\(2014\)507480_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOL-ITRE_ET(2014)507480_EN.pdf)
- 86) Marín, C. E. (2002). La producción de electricidad de origen nuclear en España. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (33), 65-77.

- 87) Meijer, A., & Bolívar, M. P. R. (2016). Governing the smart city: A review of the literature on smart urban governance. *International Review of Administrative Sciences*, 82(2), 392–408. <https://doi.org/10.1177/0020852314564308>
- 88) Ministry of Land I. and T. Smart-city-broschure (2019). <https://www.iss.europa.eu/content/towards-urban-decoupling-china's-smart-city-ambitions-time-covid-19>
- 89) Ministry of Urban Development. The smart city challenge (2016), pp. 1-92. http://smartcities.gov.in/upload/uploadfiles/files/Kochi_SCP.pdf
- 90) Montoya, FG, Peña-García, A, Juaidi, A y Manzano-Agugliaro, F. (2017). Indoor lighting techniques: An overview of evolution and new trends for energy saving. *Energy and Buildings*, 140, 50-60.
- 91) Mora, L., Bolici R. & Deakin, M. (2017). The First Two Decades of Smart-City Research: A Bibliometric Analysis. *Journal of Urban Technology*, 24, 1, 3–27.
- 92) Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology, People, and Institutions. *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times*, 282–291. <https://doi.org/10.1145/2037556.2037602>
- 93) Neirotti, P., De Marco, A., Cagliano, A. C., Mangano, G., & Scorrano, F. (2014). Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. *Cities*, 38, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.12.010>
- 94) Nick, G. A., & Pongracz, F. (2016). Hungarian smart cities strategies towards industry 4.0. *Industry 4.0*, 1(2), 122-127.
- 95) Nowak, S. 2011. Trends in photovoltaic applications. Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2007 International Energy Agency (IEA) Report IEA-PVPS T1-17: 2008. Available online: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/tr_2007.pdf (Accessed on 12-08-21).
- 96) Olabi, A. G., & Abdelkareem, M. A. (2022). Renewable energy and climate change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112111.
- 97) Olabi, A. G., Obaideen, K., Elsaid, K., Wilberforce, T., Sayed, E. T., Maghrabie, H. M., & Abdelkareem, M. A. (2022). Assessment of the pre-combustion carbon capture contribution into sustainable development goals SDGs using novel indicators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111710.
- 98) Olleros, F. X., & Zhegu, M. (2016). *Research Handbook on Digital Transformations*. Edward Elgar Publishing.
- 99) Orejon-Sanchez, R. D., Andres-Diaz, J. R., & Gago-Calderon, A. (2021). Autonomous Photovoltaic LED Urban Street Lighting: Technical, Economic, and Social Viability Analysis Based on a Case Study. *Sustainability*, 13(21), 11746.
- 100) Orejón-Sánchez, R. D., Crespo-García, D., Andrés-Díaz, J.R. & Gago-Calderón, A. (2022). Smart cities' development in Spain: comparison of technical and social indicators with reference to European cities. *Sustainable Cities and Society*. (2022), 103828. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103828>
- 101) Orejón-Sánchez, R. D., Hermoso-Orzáez, M. J., & Gago-Calderón, A. (2020). LED lighting installations in professional stadiums: Energy efficiency,

- visual comfort, and requirements of 4K TV broadcast. *Sustainability*, 12(18), 7684.
- 102) Pachamanov, A., & Kashev, K. (2019). Rehabilitation and Remote Control of Municipalities Street Lighting. In 2019 Second Balkan Junior Conference on Lighting (Balkan Light Junior) (pp. 1-4). IEEE.
 - 103) Palmer, M., & Gibbons, R. (2021). Smart lighting for smart cities. In *Solving Urban Infrastructure Problems Using Smart City Technologies* (pp. 485-499). Elsevier.
 - 104) Pardo-Bosch, F., Blanco, A., Sesé, E., Ezcurra, F., & Pujadas, P. (2021). Sustainable strategy for the implementation of energy efficient smart public lighting in urban areas: case study in San Sebastian. *Sustainable Cities and Society*, 103454.
 - 105) Park, J., & Chung, E. (2021). Learning from past pandemic governance: Early response and Public-Private Partnerships in testing of COVID-19 in South Korea. *World Development*, 137, 105198.
 - 106) Park, J., & Chung, E. (2021). Learning from past pandemic governance: Early response and Public-Private Partnerships in testing of COVID-19 in South Korea. *World Development*, 137, 105198.
 - 107) Pattison, P. M., Hansen, M., & Tsao, J. Y. (2018). LED lighting efficacy: Status and directions. *Comptes Rendus Physique*, 19(3), 134-145.
 - 108) Petritoli, E., Leccese, F., Pizzuti, S., & Pieroni, F. (2019). Smart lighting as basic building block of smart city: An energy performance comparative case study. *Measurement*, 136, 466-477.
 - 109) Phenix, M. (2014). Hands off with Heathrow's autonomous pod cars. BBC. <http://www.bbc.com/autos/story/20140910-hands-off-with-heathrows-pods>
 - 110) Pili, R., Martínez, L. G., Wieland, C., & Spliethoff, H. (2020). Techno-economic potential of waste heat recovery from German energy-intensive industry with Organic Rankine Cycle technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134, 110324.
 - 111) Pintér, G., Baranyai, N. H., Williams, A., & Zsiborács, H. (2018). Study of photovoltaics and LED energy efficiency: Case study in Hungary. *Energies*, 11(4), 790.
 - 112) Potter, S., Valdez, A., Cook, M., & Langendahl, P.-A. (2015). Governance in niche development for a transition to a new mobility regime. *International Sustainability Conference 2015*, University of Sussex. <http://www.ist2015.org/>
 - 113) Premier League. (2018). Premier League Handbook season 2018/2019. Retrieved from www.premierleague.com
 - 114) R. Bao, A. Zhang. Does lockdown reduce air pollution? Evidence from 44 cities in northern China. *Sci. Total Environ.*, 731 (2020)
 - 115) Red.es. (2015). Plan Nacional de Ciudades Inteligentes | Red.es. <https://www.red.es/redes/es/que-hacemos/ciudades-inteligentes/plan-nacional-de-ciudades-inteligentes>

- 116) Red.es. (2017). RESOLUCIÓN DE LA ENTIDAD PÚBLICA EMPRESARIAL RED.ES POR LA QUE SE CONVOCA LA CONCESIÓN DE AYUDAS PARA EL DESARROLLO DEL PLAN NACIONAL DE TERRITORIOS INTELIGENTES DE LA AGENDA DIGITAL PARA ESPAÑA DESTINOS TURÍSTICOS INTELIGENTES. C037/17-SP. <https://perfilcontratante.red.es/perfilcontratante/busqueda/DetalleLicitacionesDeFault.action?idLicitacion=6565&visualizar=0>
- 117) Red.es. (2019). Objetos Internos de Ciudad | Red.es. <https://www.red.es/redes/es/que-hacemos/territorios-inteligentes/objetos-internos-de-ciudad>
- 118) Reddy, S., & Painuly, J. P. (2004). Diffusion of renewable energy technologies—barriers and stakeholders’ perspectives. *Renewable Energy*, 29(9), 1431-1447.
- 119) Ricart, J. E., Berrone P., Duch, A., & Carrasco-Farré, C. (2019). IESE Cities in Motion Index 2019 | Cities in Motion. <https://blog.iese.edu/cities-challenges-and-management/2019/05/10/iese-cities-in-motion-index-2019/>
- 120) Ricart, J. E., Berrone P., Duch, A., & Carrasco-Farré, C. (2020). IESE Cities in Motion Index 2019 | Cities in Motion. <https://blog.iese.edu/cities-challenges-and-management/2020/10/27/iese-cities-in-motion-index-2020/>
- 121) Ruhlandt, R. W. S. (2018). The governance of smart cities: A systematic literature review. *Cities*, 81, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.02.014>
- 122) Sanchez-Sutil, F., & Cano-Ortega, A. (2021). Smart regulation and efficiency energy system for street lighting with LoRa LPWAN. *Sustainable Cities and Society*, 70, 102912.
- 123) Sayed, E. T., Abdelkareem, M. A., Bahaa, A., Eisa, T., Alawadhi, H., Al-Asheh, S., ... & Olabi, A. G. (2021). Synthesis and performance evaluation of various metal chalcogenides as active anodes for direct urea fuel cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111470.
- 124) Sayed, E. T., Abdelkareem, M. A., Bahaa, A., Eisa, T., Alawadhi, H., Al-Asheh, S., ... & Olabi, A. G. (2021). Synthesis and performance evaluation of various metal chalcogenides as active anodes for direct urea fuel cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111470.
- 125) Sen, S., & Ganguly, S. (2017). Opportunities, barriers and issues with renewable energy development—A discussion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1170-1181.
- 126) Sharifi, A., & Khavarian-Garmsir, A. R. (2020). The COVID-19 pandemic: Impacts on cities and major lessons for urban planning, design, and management. *Science of the Total Environment*, 749, 142391.
- 127) Sheha, M., Mohammadi, K., & Powell, K. (2021). Techno-economic analysis of the impact of dynamic electricity prices on solar penetration in a smart grid environment with distributed energy storage. *Applied Energy*, 282, 116168.
- 128) Shivakumar, A., Dobbins, A., Fahl, U., & Singh, A. (2019). Drivers of renewable energy deployment in the EU: An analysis of past trends and projections. *Energy Strategy Reviews*, 26, 100402.

- 129) Sonn, J. W., & Lee, J. K. (2020). The smart city as time-space cartographer in COVID-19 control: the South Korean strategy and democratic control of surveillance technology. *Eurasian Geography and Economics*, 61(4-5), 482-492.
- 130) Sonn, J. W., Kang, M., & Choi, Y. (2020). Smart city technologies for pandemic control without lockdown. *International Journal of Urban Sciences*, 24(2), 149-151.
- 131) Soomro, M. A., Hizam-Hanafiah, M., Abdullah, N. L., Ali, M. H., & Jusoh, M. S. (2021). Industry 4.0 Readiness of Technology Companies: A Pilot Study from Malaysia. *Administrative Sciences*, 11(2), 56.
- 132) Steinbach A., Barriers and solutions for expansion of electricity grids-the German experience. *Energy Policy*, 2013. 63, 224-229, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.073>.
- 133) Su, K., Li, J., & Fu, H. (2011). Smart city and the applications. 2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC), 1028–1031. <https://doi.org/10.1109/ICECC.2011.6066743>
- 134) T. Zelt, J. Ibel, F. Tuncer. (2017). THINK ACT: smart city, smart strategy. Roland Berger GmbH. https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/ta_17_008_smart_cities_online.pdf
- 135) UEFA. (2016). UEFA Stadium Lighting Guide 2016. Retrieved from https://www.uefa.com/MultimediaFiles/Download/uefaorg/General/02/36/26/72/2362_672_DOWNLOAD.pdf
- 136) UNEP. (2013). City-Level Decoupling: Urban Resource Flows and the Governance of Infrastructure Transitions. http://www.unep.org/resourcepanel/portals/24102/pdfs/cities-full_report.pdf
- 137) Velert, S. (2018, August 14). Viena es la ciudad más habitable del mundo. El País. https://elpais.com/internacional/2018/08/14/actualidad/1534245984_920708.html
- 138) Xu, H., & Geng, X. (2019). People-centric service intelligence for smart cities. *Smart Cities*, 2(2), 135-152.
- 139) Yang, S., & Chong, Z. (2021). Smart city projects against COVID-19: Quantitative evidence from China. *Sustainable cities and society*, 70, 102897.
- 140) Yoomak, S., Jettanasen, C., Ngaopitakkul, A., Bunjongjit, S., & Leelajindakrairerk, M. (2018). Comparative study of lighting quality and power quality for LED and HPS luminaires in a roadway lighting system. *Energy and Buildings*, 159, 542-557.