

05-033

EVALUATION TOOL OF LIGHTING RETROFIT IN RESIDENTIAL GARAGES

Alvarez Cabal, Jose Valeriano⁽²⁾; Coma García, Gerardo⁽²⁾; Díaz Suárez, Aitana⁽²⁾; Vigil Berrocal, Miguel Angel⁽²⁾

⁽¹⁾universidad de oviedo, ⁽²⁾Universidad de Oviedo

There are countless private car parks located in residential buildings equipped with lighting installations which represent an important part of the energy consumption of common facilities. The updating of these facilities is relatively simple and there are plenty of tools which ensure a rapid economic recovery. However, all these tools are generally developed by entities with commercial interests and tend to be too simple. A study on the existing alternatives for the updates is proposed, based on the current state of the art of lighting technology. Based on this information, a decision-making tool is developed, which takes into consideration the necessary investment, the energy and maintenance costs, the improvement in lighting achieved in the existing installation and sustainability-related aspects.

Keywords: *Lighting; retrofit; private parks*

EVALUACIÓN DE LA CONVENIENCIA DE SUSTITUCIÓN DE INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN EN GARAGES COLECTIVOS

Los aparcamientos privados situados en edificios residencial son extraordinariamente numerosos y están dotados de instalaciones de iluminación que suponen una parte importante del consumo energético de las instalaciones comunes. La actualización de esas instalaciones es relativamente sencilla y existen numerosas herramientas que aseguran una rápida recuperación económica. Pero, en general, todas las herramientas están desarrolladas por entidades con intereses comerciales y suelen ser excesivamente simples. Se plantea estudiar las alternativas existentes en las actualizaciones, basándose en el estado del arte actual de la tecnología de iluminación. A partir de esta información se desarrolla una herramienta de toma de decisión que tenga en cuenta la inversión necesaria, el coste de la energía y el mantenimiento, la mejora de la iluminación conseguida sobre la instalación existente, y los aspectos relacionados con la sostenibilidad.

Palabras clave: *iluminación; garage; eficiencia energéticas*

Correspondencia: valer@api.uniovi.es



©2018 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1.Introduccion

En cuanto a optimización energética, los garajes siempre han sido los grandes olvidados, siendo espacios grises y desapacibles que únicamente cumplían su función. Como sucede en almacenes o en la industria, en la iluminación de garajes no es relevante el aspecto decorativo de las luminarias ni una excelente reproducción de la gama cromática. Sin embargo, sí cobra una gran importancia la seguridad para los usuarios. En este punto, la no existencia de deslumbramientos y/o puntos muertos de luz son vitales. Pero, aparte de este aspecto, el criterio fundamental para elegir una tecnología de iluminación es minimizar los costes de utilización, lo que suele reducirse al menor consumo energético. Además, los garajes suelen ser lugar de paso, sin demasiada concurrencia de personas por norma general, a no ser que el garaje sea de un centro comercial o zona concurrida de cualquier urbe.

Suelen ser espacios relativamente amplios y diáfanos en los que es necesario ofrecer una iluminancia relativamente baja en todo el espacio, no exigiéndose focos puntuales de iluminación. En este tipo de espacios, los principales criterios para establecer la iluminación son la eficiencia de la tecnología de iluminación y una vida útil dilatada que reduce los costes de mantenimiento.

Es frecuente encontrar información comercial que indica que la mejor opción para reducir ese consumo eléctrico es sustituir los sistemas de iluminación existente por tecnología LED, pero para llevar a cabo esa sustitución se debe estudiar si realmente existe un ahorro económico. Se suelen proporcionar pseudo-herramientas que realizan cálculos muy simplificados que atienden solo al consumo energéticos, con supuestos que favorecen el producto a comercializar. Plantearse recopilar los conocimientos y general una herramienta que incorpore todas las etapas del ciclo de vida, con una aproximación de Costes del Ciclo de Vida (Fuller, 96), facilitaría estudiar si merece la pena, desde un punto de vista, sustituir la instalación por otra, actualizarla en el momento actual, o dejarla como esta y esperar a una futura bajada de precios. Más que una herramienta de comparación entre opciones, se precisaría una herramienta de toma de decisiones que, basado en los precios de la electricidad, de las lámparas y las previsiones futuras permitiese una decisión informada en un entorno tan concreto como los garajes privado, que a diferencia de los aparcamientos exteriores no ha sido tan estudiada.

2. Tecnologías de iluminación usadas en garajes

Los requisitos de eficacia, durabilidad, calidad en la reproducción del color y coste hacen que se utilice de forma casi general los fluorescentes que son sustituidos en el momento actual por la tecnología LED. Las tecnologías de descargas tienen potencias excesivas o su coste es muy grande. Las tecnologías más innovadoras como plasma u OLED son poco ofertadas y no son competitivas en costes, quedando limitadas a aplicaciones especiales.

No se han localizado informes con estadísticas sobre el uso en garajes. En función de los datos de Estados Unidos, que realiza y publica informes sobre la implantación de las tecnologías de iluminación, en el sector residencial están instalados más de 512 millones de tubos fluorescentes frente a 417 millones de lámparas LED (pero la mayoría sustituyen a CFL e incandescentes). Para hacerse una mejor idea del grado de sustitución de los TFL se pueden usar los datos del sector comercial, en el que hay instalados, en EE. UU., más de 1.600 millones frente a 217 millones de lámparas LED. De estas últimas 22 millones son tubos LED. (US DOE, 2017). El informe del Departamento de Energía (US DOE-s, 2017) basado en datos del 2016 y estimaciones extendidas al 2035. Para el año 2035, las

estimaciones establecen un 86% de las instalaciones dotadas con lamparas LED frente a un 32% de las instaladas en el año 2016.

En el estudio realizado por la consultora de Chicago McKinsey (McKinsey, 2012) analizando la evolución del mercado de la iluminación hasta el año 2020 se preveía, con gran acierto, un gran crecimiento en el número de instalaciones LED que irán sustituyendo en un porcentaje creciente a los fluorescentes tubulares (TFL Tubo Fluorescente Lineal). El número de luminarias TFL ira decayendo levemente, al ritmo de un 10% al llegar al 2020. En la actualidad sigue siendo el estudio de referencia sobre tendencias. Conforme a las tendencias mostradas en dicho informe, se espera que los costos de TFL disminuyan ligeramente en comparación con los LED en su evolución hasta el año 2020.

La tendencia actual del mercado es hacer más actualizaciones de iluminación evitando el cambio de luminarias. El costo total de una nueva instalación raramente compensa el ahorro de energía en un tiempo razonable. Por lo tanto, el cambio de lámparas, balastos y sistemas de control debería aumentar significativamente en los próximos años.

3.1 Fluorescentes

En términos de eficiencia, los TFL tiene un rango entre 60 y 100 lm / W, siendo un valor de referencia los 80-85 W/m de un fluorescente T8 con buena gama cromática. Los valores de la eficiencia bajan en los dispositivos de poca potencia unitaria, y en los equipos de larga duración. (Philips, 2017) (Osram, 2017)

Las lámparas TFL tienen una vida útil entre las 15,000 y las 35,000 horas, siendo los valores habituales de 20.000-25.000 horas en los fabricantes de prestigio. El fallo de las lámparas se produce por desgaste del electrodo existiendo gamas de larga duración hasta las 35.000 horas. No hay diferencias apreciables en este aspecto entre los T8 y los T5.. La frecuencia de encendido y apagado tiene una gran influencia en la vida útil. Los datos de catálogo se suelen calcular para tres encendidos al día. Si el funcionamiento es continuo su vida se alarga sobre los datos de catálogo, pero es mucho mayor el efecto de reducción que se produce al incrementar la periodicidad de los encendidos. Los TFL tienen una depreciación luminosa (perdida de eficacia con el uso) lineal y relativamente pequeña, manteniendo valores cercanos al 90% de su iluminancia inicial al final de su vida útil.

Los TFL tienen poca diversidad de posibilidades de actualización debido a su forma. Solo son compatibles con los otros modelos TFL y con el desarrollo de la tecnología LED tubular. También pueden ser compatibles con algunas formas de lámparas de inducción, pero esta actualización todavía es una etapa muy temprana y solo hay unos pocos modelos compatibles.

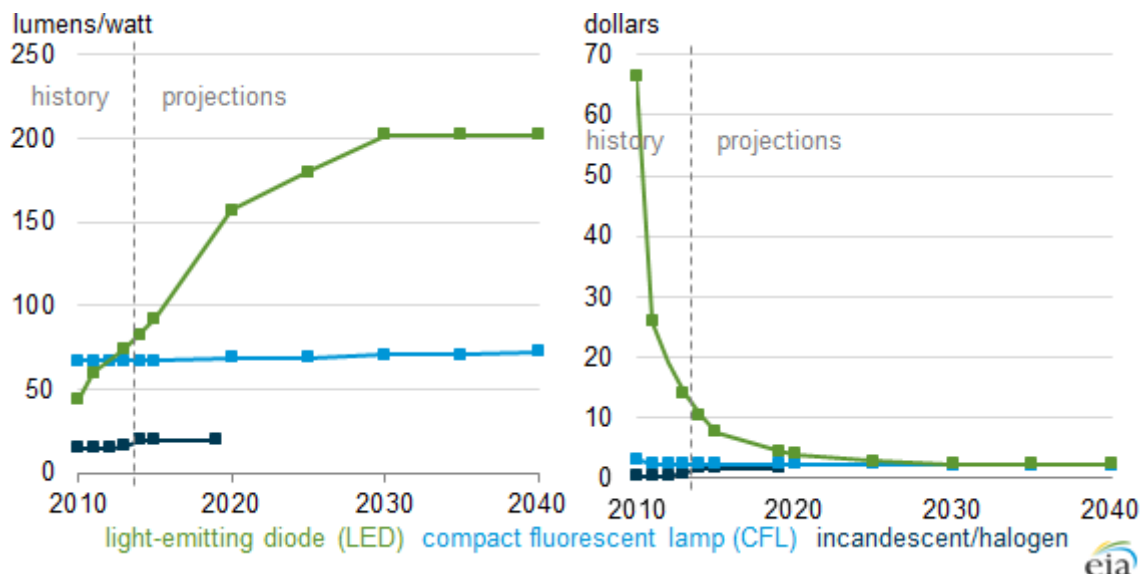
3.2 LED

Las lámparas LED (diodo emisor de luz) son una tecnología SSL (iluminación de estado sólido) donde la luz es emitida por semiconductores que transforman la electricidad directamente en luz. La luz producida por un punto del LED no es suficiente para generar un flujo luminoso visual, por lo que, para generar una cantidad suficiente de la luz, las lámparas LED se componen de grupos de puntos. Entonces, las lámparas LED se componen por un gran número de puntos de LED que crea un flujo luminoso. Debido a su compacidad, los LED se pueden configurar en diferentes patrones para satisfacer cualquier diseño de lámpara.

La eficacia luminosa de bombillas LED ha visto incrementada durante los últimos años de una manera importante, alcanzando una eficacia media cerca de 80 lm/W ya reflejad en los informes anuales del DOE a partir de 2013. Estos valores promedio han aumentado

levemente. En la siguiente figura se muestra una estimación realizada en el año 2014 sobre la evolución esperada de la eficiencia y el precio promedio

Figura 1: Eficiencia alcanzada por las lámparas LED en los últimos años. (EIA, 2014)



Las previsiones indican un futuro incremento de la eficacia promedio y una reducción de los precios que continuará hasta el año 2025.

La depreciación lumínica es lineal con una tendencia muy suave. Una de las principales ventajas de las lámparas LEDs es su vida útil (alrededor de 50.000 horas), sensiblemente superior a la que poseen otras luminarias. Sin embargo, existe cierta confusión con el término vida útil. Las lámparas LED no sufren fallos completos, salvo un muy pequeño porcentaje.

3. Factores relevantes en la iluminación de garajes

La iluminación en los garajes reúne una serie de características que serán tenidas en cuenta al decidir los factores relevantes:

- La separación entre el plano de trabajo y la lámpara no es grande
- La sustitución de las lámparas tan costosa como puede ser en instalaciones industriales, al estar situadas las luminarias en alturas fácilmente accesibles.
- Las condiciones ambientales no son extremas. La fluctuación de temperatura es inferior a la que se produciría en el exterior. Aunque la suciedad es un inconveniente importante no se puede considerar ambientes húmedos o polvorientos. No aparecen, por lo tanto, los problemas de calentamientos excesivos que pueden afectar tanto a los LED.
- No hay requisitos de iluminación muy elevados, lo que unido a la poca distancia entre las luminarias y el plano de trabajo hace que no se requieran luminarias de alta potencia.
- Habrá instalaciones en los que las luminarias estén encendidas de forma continua con lo que el tiempo de encendido no es tan relevante. (este es un factor relevante en iluminaciones de zonas exteriores en los que se precisan luminarias de gran potencia, pero en los garajes interiores no es un factor que discrimine las tecnologías utilizables)

- No es habitual la presencia de iluminación natural aprovechable. Las posibilidades de ahorro por el uso combinado de luz natural y artificial es muy reducido, y eso hace poco relevante los requisitos de capacidad de regulación de las lámparas.
- No existen grandes requisitos en la reproducción cromática

Aconsejar el sistema de iluminación más adecuado para un uso específico requiere tener en consideración diversos factores. Como primera impresión se pediría que las lámparas elegidas sean

- Tan eficientes como sea posible
- Ofrecer una aceptable reproducción del color
- De bajo coste
- De bajo coste de mantenimiento
- Adaptables al uso de sistemas de control
- De tecnología suficientemente probada y conocida

En el RD 39/1998, en su apartado 3.2, se establecen las condiciones a cumplir por los garajes colectivos con requisitos dimensionales y de la instalación de ventilación, pero sin hacer referencia expresa a las condiciones de iluminación

El Código Técnico de la Edificación, incluye en su documento HE– Eficiencia energética en instalaciones de iluminación la obligatoriedad de cumplir los requisitos mínimos de la UNE12464-1, “Iluminación en lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo interiores”, y el cumplimiento de un valor de eficiencia energética (VEEI) mínimo de 5. El VEEI se calcula como la división entre la potencia instalada multiplicado por 100 dividida entre la superficie iluminada y el valor de iluminancia media mantenida. La norma impone un índice de reproducción cromática mínimo de 80, lo que no supone restricción para las tecnologías utilizadas habitualmente (fluorescentes o LED). Se establece una iluminancia mínima de 75 lux para las plazas y los viales, que se incrementa a 300 en las rampas de acceso.

4. Factores a considerar

La eficiencia en iluminación se ve afectada por la forma y los materiales de las luminarias y por los balastos o componentes electrónicos que adaptan las necesidades de la lámpara a los requisitos de la lámpara. En el caso de los balastos, su influencia se produce a través de dos efectos. El primero es la variación en la cantidad de luz realmente emitida por la lámpara en relación con la configuración utilizada en las pruebas realizadas por el fabricante. Para tener en cuenta este valor se introduce el factor de balasto que relaciona ambos. En la actualidad el factor de balasto suele tomar valores altos llegando a superar la unidad. El segundo efecto es el propio consume eléctrico del balasto o sistema equivalente.

Además del valor inicial de la eficiencia es necesario considerar la depreciación. La luz emitida por las lámparas va disminuyendo con el uso. La importancia de la depreciación depende de la tecnología pudiendo llegar a valores del 40% o más. Esta depreciación es lineal en tecnologías como los fluorescentes o los LEDs. (CIE97, 2005). Los valores de depreciación en un fluorescentes pueden ir de un 1 a 2% por cada 1000 horas de uso. Las lámparas de Estado Sólido (LED, principalmente) deben ser tratadas de forma diferente ya que su tiempo de vida se determina en función de la depreciación. Se considera que una lámpara LED llega al fin de su vida útil cuando el flujo luminoso es el 70% del original. Hay otros factores que pueden afectar a la depreciación con la posición de la lámpara en la luminaria, las condiciones ambientales, frecuencia de encendido, etc. En cuanto a las condiciones ambientales, las variaciones que se producen en un garaje no supone grandes variaciones. Las LEDs se pueden ver muy afectadas en condiciones de alta temperatura,

pero con una construcción adecuada, el efecto del incremento de la temperatura en la eficiencia no debería ser relevante.

La duración de una lámpara se considera como el tiempo de uso hasta que la lámpara falla o presenta condiciones no adecuadas para el uso. Se calcula como un promedio. IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) (IESNA, 2000) considera que la duración se calcula de acuerdo con el momento en que un 50% de las lámparas están aún operativas. Para algunas tecnologías, como los LED, la duración se calcula a partir del momento en que el flujo luminoso de la lámpara es el 70% de la inicial. Es una práctica habitual mostrar en los catálogos una duración garantizada que tiene un margen del 50% sobre la duración estimada a partir de pruebas. Las nuevas tecnologías han alargado la duración hasta alcanzar las 100.000 horas. Realizar pruebas de laboratorio de esta duración no es posible, por lo que las duraciones son estimadas a partir de datos recogidos en pruebas más cortas. La necesidad de estimar las duraciones introduce cierto grado de error en el cálculo de las duraciones de tecnologías como inducción o LED. Por esta razón, es poco habitual encontrarse con duraciones garantizadas de más de 50.000 horas.

La duración de la lámpara puede depender de factores como la frecuencia de encendidos o la temperatura de funcionamiento. Un ejemplo muy claro es el acortamiento de la vida de una lámpara fluorescente al aumentar la frecuencia de uso.

Los sistemas de control permiten adaptar la intensidad de la luz a la necesidad actual. Para poder actuar se necesita: por un lado, capacidad para encenderse en muy corto espacios de tiempo (tiempo de encendido) y por otro la capacidad de variar el flujo luminoso (*dimming*). Un corto tiempo de encendido permite utilizar sensores de presencia, por ejemplo. La capacidad de variar el flujo luminoso permite, por ejemplo, adaptarlo a la iluminación natural presente en el plano de trabajo.

El control del flujo luminoso permite adaptarlo a las condiciones ambientales. Hay tecnologías donde dicho control es complicado como el fluorescente, otras como los LEDs en los que es posible dependiendo de cómo se construya la lámpara y otras tecnologías en las que la adaptación es sencilla como la inducción.

El coste considerado debe incluir: el propio coste de la lámpara, el coste de la luminaria, el coste del mantenimiento (incluyendo el reemplazo de las lámparas) y el coste de la energía eléctrica.

El caso de la mejora de sistemas ya existentes es particularmente interesante las posibilidades de adaptación o retrofit, como las lámparas LED tubulares que se adaptan a las luminarias de los fluorescentes tubulares.

4. Descripción de la herramienta.

En el caso de iluminación está disponible una amplia diversidad de herramientas que proceden, principalmente, de fabricantes de lámparas, de consultorías o empresas de proyectos de optimización energéticas y de instituciones de investigación. En la práctica, cualquier intento de acceder a este tipo de herramientas usando buscadores en Internet muestra gran cantidad de contenidos tanto de fabricantes como de consultoras. Una sencilla búsqueda realizada en Google con los términos “cálculo ahorro iluminación” ofrece 320.000 resultados y la misma búsqueda realizada en inglés ofrece 3.700.000 resultados. Aunque solo una pequeña parte de los resultados son herramientas se está hablando de cientos o miles. Para hacerse una idea, se puede restringir la búsqueda indicando que solo ofrezca los resultados que son hojas de cálculo Excel, lo que restringe a 21700 resultados. Un

número enorme que deja fuera a las herramientas, normalmente más sencillas, que realizan los cálculos vía web.

Después de numerosas búsquedas, nos encontramos con unas treinta herramientas dignas de ser analizadas. Estas herramientas, una vez analizadas, se pueden agrupar en diferentes grupos:

- Calculadoras: son las más simples de todas. Su funcionamiento se basa en hacer cuentas sencillas, por lo general, multiplicar la potencia de la lámpara por el número de lámparas, y hacer una resta. Proporciona resultado con muy poco valor, y suelen tener una muy clara intención **comercial**.
- Herramientas: son más completas que las calculadoras. Su funcionamiento es bastante sencillo y muy intuitivo. Son más escasas, y se orientan principalmente a oficinas o aparcamientos exteriores. No suelen ofrecer zonificaciones, y **no** se ha encontrado ninguna **adaptada a garajes privados**, aunque sí para aparcamientos exteriores.
- Programas: son muy complejos de utilizar y requieren unos conocimientos específicos en el área de la iluminación. Son la mejor opción para el cálculo de grandes proyectos, pero **excesivos para los estudios previos** para la mayoría de los casos.

Se plantea la necesidad de crear una herramienta que permita realizar un primer análisis de los garajes para ver la viabilidad de su actualización a los modernos sistemas de iluminación LED. Esta herramienta no busca la eliminación de la necesidad de contar con un experto en la materia a la hora de llevar a cabo la actualización de la iluminación de un garaje. Pero si pretende ofrecer la posibilidad de que el usuario se haga una idea de si se debe poner en contacto con un especialista.

Lo primero antes de empezar a diseñar la herramienta es necesario fijar una serie de requisitos que deba cumplir nuestra herramienta. Una vez visto que no hay ninguna herramienta específica de garajes, en lo que a sistemas de iluminación se refiere, no tenemos nada específico del área en lo que basarnos. Por lo que debemos fijar unos requisitos partiendo de cero.

Los requisitos mínimos que debe de cumplir nuestra herramienta son:

- Ser sencilla de utilizar y fácil de interpretar. Debe de ser accesible a todo tipo de usuarios, incluyendo a aquellos sin apenas conocimientos.
- Debe realizar los cálculos con una aproximación suficiente.
- Tiene que ser capaz de calcular el consumo eléctrico, tanto de la instalación actual como de las posibles alternativas.
- Debe ser capaz de realizar un análisis más exhaustivo que el cálculo del ahorro
- Debe de ser capaz de proporcionar, aunque sea de una manera básica factores medioambientales. Ofrecerá datos sobre la huella de carbono y el ahorro en CO2 de las distintas alternativas.
- La herramienta tiene que ser válida en el tiempo, por eso permitirá modificar datos de manera fácil por parte del usuario. De esta manera el usuario podrá modificar los precios de las distintas opciones y el precio de la electricidad.
- Ante todo, tiene que ser objetiva y no beneficiar a ninguna de las opciones planteadas.

Uno de los requisitos que marcados a la hora de desarrollar esta herramienta era que incorporase el cálculo de la luminosidad media. Cabe recordar que el mínimo marcado por la normativa actualmente vigente es de 75 Lux, por tanto, esta herramienta servirá para poder hacerse una idea aproximada de si la instalación actual cumple o no dicha normativa.

Para realizar el cálculo de la iluminancia media hemos optado por el método de los lúmenes. Este método no es el más fiable, pero es suficiente para realizar el cálculo de luminosidad en garajes, las formas generalmente rectangulares de los garajes favorecen la precisión de este método.

No hay que olvidar que se pretende una herramienta de toma de decisiones enfocada a los estudios previos y que no sustituye al calculista. Su fin es ofrecer un primer análisis al usuario para plantarse la necesidad o viabilidad de ponerse en contacto con un especialista.

El Método de los Lúmenes, también es conocido como Sistema General o Método del Factor de utilización. El método de los lúmenes es una forma muy práctica y sencilla de calcular el nivel medio de la iluminancia en una instalación de alumbrado general.

Se realizaron varios casos comparando los resultados del método de los lúmenes con los resultados obtenidos con el uso del programa Dialux de Dial GmbH (<http://www.dial.de>), que permitieron mejorar el ajuste de los parámetros por defecto. Los errores en la luminosidad media fueron del orden del 5%.

La herramienta va a tener en cuenta los costes generados por el consumo eléctrico, los gastos de mantenimiento generados por el uso de consumibles y su coste de sustitución y el coste de instalación de las nuevas alternativas. Dado que los costes de la electricidad son variables, la herramienta incluye una casilla para indicar la variación anual prevista

En cuanto al mantenimiento se permite considerar un coste de sustitución o no, para contemplar casos en los que existen un personal que se ocupa del mantenimiento y cuyo coste debe ser asumido independientemente de las sustituciones realizadas. Además, se deberán poder considerar situaciones de cambio periódico o de sustitución en caso de fallo (o depreciación excesiva). En el segundo caso se tendrá presente la vida promedio de las lámparas. Los costes de instalación y mantenimiento son modificables proporcionándose unos valores por defecto obtenidos de bases de precios.

Sin lugar a duda, el número de horas que la instalación esté funcionando será el mayor determinante en el consumo final. En el caso de los garajes, pueden encontrarse dos opciones. Puede ser que el alumbrado esté funcionando las 24 horas del día, esto es más común en garajes muy grandes y en los aparcamientos públicos. La otra opción es que el garaje disponga de un temporizador, es decir, una vez encendido se apaga automáticamente transcurridos unos minutos. La herramienta contempla ambas opciones. En el caso de disponer de temporizador, es necesario conocer la duración y el número de encendidos. En caso de no conocer este dato, la herramienta considera automáticamente que el 60 % de los vehículos usan el garaje dos veces al día. Este dato puede ser bastante cercano a la realidad en un garaje pequeño pero exagerado en uno grande. Por lo tanto, lo mejor es que el usuario aporte un número aproximado de encendidos.

La herramienta ofrece la información de los consumos de dos formas diferentes. En forma de tabla y mediante una gráfica comparativa entre las distintas opciones.

Figura 2: Ejemplo visualización Tabla de consumos.

	Actual	Tubo LED	LED	Fluorescente larga duración
Número de luminarias:	25	25	25	25
Número de lámparas:	25	25	25	25
Potencia lámparas:	36	16	21	36
Potencia total (W):	1150	400	525	975
Luminosidad media (Lx):	69,33	79,20	79,20	69,33
Cumple el VEEL:	Sí	Sí	Sí	Sí
consumo diario (kWh):	1,84	0,64	0,84	1,56
consumo mensual promedio (kWh):	55,2	19,2	25,2	46,8
consumo anual (kWh):	671,60	233,60	306,60	569,40

La herramienta incorpora el cálculo de la huella de carbono de las distintas alternativas, como indicador de sostenibilidad. En primer lugar es necesario explicar que es y como se calcula la huella de carbono.

La herramienta va a mostrar también el ahorro en huella de carbono de las alternativas LED respecto al uso de fluorescentes. Para permitir una más fácil interpretación también se valdrá del uso de gráficas. Otro aspecto a tener en cuenta es el Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI), que debe superar el valor 5 conforme al Código Técnico de la Edificación.

Para facilitar su manejo y simplificar su desarrollo, la herramienta se realiza usando las posibilidades de programación embebidas en la hoja de cálculo Ms Excel 2016.

Figura 3: Formulario introducción de datos.

A partir de los resultados se muestran gráficos con los mismos y se permite realizar un análisis de sensibilidad variando el coste del kwh.

5. Ejemplo de aplicación

Aplicado a un caso, por ejemplo, un garaje de 450 m2 con buenas condiciones de limpieza y con un temporizador de 4 minutos. Ésta iluminado, actualmente, mediante 25 luminarias del

tipo T8 y una lámpara por luminaria. Las lámparas serán de 36W y tiene balastos magnéticos. La electricidad está contratada con EDP.

Se ofrecen los resultados para cada alternativa posible, que va desde el *retrofit* con tubos LED o fluorescentes de larga duración, hasta una sustitución completa con luminarias LED.

Figura 4 Resultados

	Actual	Tubo LED	LED	Fluorescente larga duración
Número de luminarias:	25	25	25	25
Número de lámparas:	25	25	25	25
Potencia lámparas:	36	16	21	36
Potencia total (W):	1150	400	525	975
Luminosidad media (Lx):	69,33	79,20	79,20	69,33
Cumple el VEEI:	Sí	Sí	Sí	Sí
consumo diario (kWh):	1,84	0,64	0,84	1,56
consumo mensual promedio (kWh):	55,2	19,2	25,2	46,8
consumo anual (kWh):	671,60	233,60	306,60	569,40
Huella de carbono (Kg CO ₂) (anual):	161,18	56,06	73,58	136,66
Ahorro CO ₂ (Kg CO ₂) (anual):		105,12	87,60	24,53
Ahorro CO ₂ (Kg CO ₂) (10 años):		1051,20	876,00	245,28
Coste mensual electricidad (promedio):	8,78 €	3,05 €	4,01 €	7,44 €
Coste anual electricidad:	106,83 €	37,16 €	48,77 €	90,57 €
Coste periodo a analizar:	1.068,30 €	371,58 €	487,70 €	905,73 €
Ahorro en electricidad:		696,72 €	580,60 €	162,57 €
Coste mano de obra instalación:	- €	125,00 €	275,00 €	125,00 €
Coste materiales:	- €	852,50 €	2.100,00 €	575,00 €
Costes totales instalación:	- €	977,50 €	2.375,00 €	700,00 €
Vida útil (h):	15000	55000	50000	50000
Lámparas necesarias durante 10 años:	0,39	0,11	0,12	0,12
Tiempo reposición de lámparas (años):	25,68	94,18	85,62	85,62
Coste de reposición unitario (mano de obra):	- €	- €	- €	- €
Costes de reposición total:	- €	- €	- €	- €
Coste mantenimiento anual:	2,87 €	9,05 €	24,53 €	5,40 €

*Las lámparas deberán ser sustituidas una vez agotada su vida útil. Supondremos un coste anual de mantenimiento, mediante el cual se irá aportando una cantidad que cubra el coste de sustitución de las lámparas.

Se ve que las actuales lámparas de 36 vatios podrían ser sustituidas por tubos LED de 16 vatios, luminarias LED de 21 vatios o tubos fluorescentes de larga duración. Todas las alternativas suponen una disminución del consumo eléctrico.

En la siguiente tabla vemos los costes totales, instalación, mantenimiento y electricidad a lo largo de diez años. En esta tabla ya podemos ver si las alternativas deben de ser tenidas en cuenta.

Figura 5 Costes Totales

Costes totales: instalación, mantenimiento y electricidad	Actual	Tubo LED	Led	T8 larga duración
inversión inicial	- €	977,50 €	2.100,00 €	575,00 €
año 1	109,70 €	46,21 €	70,09 €	112,09 €
año 2	110,77 €	46,58 €	70,57 €	113,15 €
año 3	111,85 €	46,96 €	71,07 €	114,23 €
año 4	112,94 €	47,34 €	71,56 €	115,32 €
año 5	114,04 €	47,72 €	72,07 €	116,42 €
año 6	115,15 €	48,11 €	72,57 €	117,54 €
año 7	116,27 €	48,50 €	73,09 €	118,66 €
año 8	117,41 €	48,89 €	73,60 €	119,79 €
año 9	118,55 €	49,29 €	74,13 €	120,94 €
año 10	119,71 €	49,69 €	74,66 €	122,09 €
Total	1.146,39 €	1.456,78 €	2.823,40 €	1.745,24 €
Ahorro	-	310,39 €	1.677,01 €	598,85 €

*Las opciones marcadas en verde, supondrían un ahorro sobre la instalación actual y sería recomendable su sustitución.

De esta tabla podemos deducir que ninguna de las alternativas se llegaría a amortizar en diez años. La opción de los tubos LED si podría llevarse a cabo, puesto que supone prácticamente el mismo gasto y es de esperar que su coste de mantenimiento se vaya reduciendo a la vez que se van abaratando los tubos led.

Incluso modificando al alza el precio de la electricidad, los periodos de retorno son demasiado grandes para recomendar la modificación.

En definitiva, una vez analizada toda la información ofrecida por la herramienta, llegamos a la conclusión de que desde un punto de vista económico no es recomendable llevar a cabo la actualización, en este momento. Sin embargo, esta actualización permitiría cumplir la normativa vigente y favorecer a la conservación del medio ambiente. Lo aconsejable es esperar a una reducción de los precios de los sistemas LED.

6. Conclusiones

Con la actual tendencia alcista de los precios de la electricidad como la considerable bajada de los precios de los productos LED en los últimos años, se plantea la posibilidad de sustituir los elementos de iluminación tradicionales por iluminación de tipo LED. A pesar de que los garajes su mayor gasto con mucha diferencia es en electricidad, prácticamente la totalidad de ellos están iluminados mediante lámparas fluorescentes. Estas lámparas a diferencia de las ya prohibidas incandescentes ofrecen unas muy buenas prestaciones. Por esto mismo, su sustitución por iluminación LED debe ser cuidadosamente estudiada.

Se ha desarrollado una herramienta sencilla de utilizar por cualquier tipo de usuario, con conocimientos o sin ellos. Esta herramienta ha demostrado ser totalmente válida para realizar un primer estudio de idoneidad o no de sustituir la iluminación actual.

Por lo visto durante las diversas pruebas a las que se ha sometido a la herramienta se ha llegado a la conclusión de que, a día de hoy, con los actuales precios de la electricidad y de los productos LED, no se puede afirmar que la opción LED sea siempre la más ventajosa. Por esto mismo toma especial importancia la herramienta aquí creada.

7. Referencias

- CALIPER. (2012). *Light bulbs*. LED Lighting Facts Energy efficiency US Department of Energy, consultado de <https://www.energy.gov/eere/ssl/caliper>
- CIE, Comission Internationale de l'éclairage, (2005), Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems, Technical Report, ISBN 3 901 906 45 2
- ECBCS, 2010. Guidebook on energy efficient Electric Lighting for Building, Espoo: IEA -Aalto University, obtenido de <http://www.ecbcs.org> el 7 de marzo de 2018
- EIA, (2014) U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2014, consultado en <http://www.eia.gov>
- McKinsey&Company. (2012). Lighting the way. Perspectives on the global lighting market., consultado de <https://www.mckinsey.de>
- US DoE. (2013). CALIPER Snapshot LED Lighting Facts Energy efficiency & renewable energy. consultado de <https://www.energy.gov/eere/ssl/caliper>
- Fuller, S; Perterson, S "Life Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program" NIST Handbook, US Department of Commerce, 1996
- OSRAM (2017) Catalogo de productos, consultado en <https://www.osram.es/cb/productos>
- Phillips (2017), Phillips Catalogo de productos, consultado en www.lighting.philips.es/prof
- US DOE (2017) "2015 U.S. Lighting Market Characterization", disponible en <http://www.energy.gov>
- US DOE-s (2017), "Energy Savings Forecast of Solid-State Lighting in General Illumination Applications" disponible en <http://www.energy.gov>
- US Veterans. (2010). *LED and Conventional Lighting System Comparison*. Office of Construction and Facilities Management of the US Department of Veteran Affairs.
- Stanley Rea, M. (2000) IESNA Lighting Handbook, 9ª edición, Edit IESNA, New York