

ILUMINACIÓN EN VIVIENDA RURAL SOCIAL Y OBSERVANCIA DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Rigali, Silvina¹; Ferreira, Alejandro¹; Juárez, Carlos¹; Fernández, Franco¹

¹ Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

ITA - Instituto de Tecnologías Aplicadas

* silvinarigali@yahoo.com.ar; af552000@gmail.com; jucarlosram@gmail.com; francofer@hotmail.com

RESUMEN: Este trabajo analiza la iluminación en viviendas rurales del programa social de erradicación de ranchos en Santiago del Estero y propone alternativas eficientes considerando una inversión ajustada por la naturaleza y amplitud del proyecto. Se encuadra la propuesta como un aporte a la mitigación del cambio climático, y una contribución al cumplimiento de los ODS, al mejorar la calidad de vida, y reducir el consumo de energía eléctrica convencional. Para seleccionar la alternativa óptima se procede a reproducir las condiciones de la vivienda, e instalar sistemas de iluminación combinando fuentes y luminarias, y consecutivamente registrar los niveles de iluminancia en grilla, calculando los demás parámetros. Este estudio se realiza para 220 V CA, y para 12 V CD.

La luminaria tipo campana de aluminio grande y lámpara LED 14W cálida, satisface los requerimientos de eficiencia y confort visual para CA. Para 12 V, CD, se exponen las ventajas de emplear la misma luminaria con LED 18 W frente a lámpara desnuda. La herramienta utilizada para calcular tCO₂eq es el factor de emisión de la red eléctrica, con el cual se determina una disminución de 773 tCO₂ anuales con la sustitución de LFC por LED para 27.000 viviendas alimentadas por red convencional.

Palabras claves: Vivienda rural, sostenibilidad, iluminación eficiente.

ABSTRACT: This paper analyzes the lighting in rural homes of the social program for the eradication of precarious adobe houses in Santiago del Estero and proposes efficient alternatives considering an investment adjusted by the nature and breadth of the project. The proposal is framed as a contribution to the mitigation of climate change, and a contribution to the fulfillment of the SDGs, by improving the quality of life, and reducing the consumption of conventional electricity. To select the optimal alternative, the conditions of the house are reproduced, and lighting systems are installed by combining sources and luminaires, and consecutively the illuminance levels are recorded in the grid, calculating the other parameters. This study is performed for 220 V AC, and for 12 V DC.

The large aluminum bell lighting fixture and 14W warm LED lamp meet the efficiency and visual comfort requirements for AC. For 12 V, DC, the advantages of using the same luminaire with 18 W LED compared to a bare lamp are exposed. The tool used to calculate tCO₂eq is the electricity grid emission factor, which determines a reduction of 773 tCO₂ per year with the replacement of CFLs with LEDs for 27,000 homes powered by conventional grids.

Keywords: Rural housing, sustainability, lighting efficiency.

INTRODUCCIÓN

En las viviendas de la República Argentina (RA), el consumo de energía eléctrica (EE) destinado a la iluminación se estima entre un 25% y 35% según información del Ministerio de Economía en la página oficial (2022). Existe un enorme potencial de ahorro en este sector que debe aprovecharse sin menoscabo de la calidad, ya que una iluminación inadecuada afecta la productividad, el confort visual, la seguridad y también tiene efectos sobre el estado de ánimo de las personas. Por tanto, se deben alcanzar parámetros apropiados en el interior de las viviendas, acordes con consumos eficientes que mitiguen la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

El trabajo presenta una propuesta basada en la calidad en iluminación de una vivienda rural, y una estimación del potencial de reducción de GEI en las 27.000 unidades construidas con acceso a redes de energía eléctrica en la provincia de Santiago del Estero (SDE).

La variante propuesta es reemplazar la lámpara desnuda empleada de forma masiva en hogares rurales (incandescente halógena o fluorescente compacta -LFC-) por el conjunto LED + luminaria del tipo campana, lo que permitirá proveer a los usuarios de una iluminación de mejor calidad. Antecedentes a este trabajo tales como Kirshbaum et al (2008) muestran los resultados de la sustitución de tecnología incandescente por LFC y la utilización de artefactos de tipo campana hace más de una década.

Además del reemplazo de lámparas, y utilización de una sencilla luminaria, entre las innovaciones introducidas sin exceder costos, se recomienda para el futuro instalar proyectores LED 20W con sensores de movimiento para activar la iluminación solo cuando sea necesario, especialmente útil en áreas exteriores por seguridad. Otras alternativas que ya se aplican con éxito en el territorio nacional en edificios públicos, buscan promover la arquitectura bioclimática, aprovechando la luz natural mediante un diseño que maximice

la entrada de luz solar, incluyendo ventanas estratégicamente ubicadas, tragaluces y techos transparentes.

Además de una tecnología eficiente, se requiere un uso responsable. La capacitación comunitaria, mediante la implementación de programas de eficiencia energética en comunidades rurales, busca empoderar a los residentes con conocimientos sobre cómo optimizar el uso de la iluminación y otros recursos. Aunque es bien sabido que los habitantes del interior tienden a observar prácticas más eficientes en el uso de recursos naturales como el agua, el gas envasado, la leña, porque su experiencia en la adversidad climática, y precariedad de sus viviendas les ha mostrado la finitud de estos recursos no renovables. La implementación de estas prácticas no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también puede conducir a un ahorro significativo de costos a largo plazo para los residentes de viviendas rurales que en la actual desregulación de las tarifas impactará de forma positiva.

La investigación desde la universidad pública busca la fusión entre ciencia, universidad y territorio mediante la generación, difusión y aplicación de conocimiento técnico-científico, compartiendo la experiencia teórica y analítica con la mirada del poblador rural con sus hábitos, su idiosincrasia, y sus problemáticas.

Es necesario aportarle a este trabajo la información sobre el proyecto nacional que estaba en progreso y fue ejecutado por diferentes actores dependientes del gobierno de la nación, iniciado en mayo de 2023, denominado “Proyecto de eficiencia energética y energía renovables en la vivienda social argentina”. Y especialmente al PRONEV, “Programa nacional de etiquetado de viviendas”, que es un programa de triple impacto: ambiental, social, y económico. El impacto social está relacionado con mejorar la calidad de vida de quien habita una vivienda energéticamente eficiente, contribuir a desarrollar el nuevo paradigma de la energía, y de esta manera crear muchos puestos de trabajo en la transición.

ANTECEDENTES Y CONTEXTO

2.1 El escenario catastrófico debido al CC

La problemática actual del cambio climático (CC) conduce a escenarios catastróficos sino se actúa de inmediato, pero existe un convencimiento mundial entre los expertos, que aún hay tiempo de alcanzar escenarios deseados si globalmente se enfocan los

esfuerzos para mitigar las emisiones de dióxido de carbono que provocan este desequilibrio en la atmósfera con la consecuencia del calentamiento climático, y sus efectos extremos asociados, algunos de los cuales ya se padecen en diferentes regiones del mundo, generando graves problemas tales como lluvias intensas (e inundaciones), sequías extremas (que agigantan y catalizan los incendios forestales), olas de calor, y olas de frío extremo, entre otros. Y estas acciones deberían desplegarse paralelamente a políticas públicas orientadas a la adaptación al CC de las comunidades vulnerables.

Si pudiera detenerse hoy la emisión de GEI, aun así, habría que manejar los efectos adversos del CC, porque llevaría años revertir los procesos, y recuperar el equilibrio de la biósfera. Por eso desde los gobiernos de 193 países más la unión europea alineados en tratados internacionales vinculantes se plantea la descarbonización hasta el año 2050, buscando modificar la situación en forma progresiva y continua, mientras se hacen esfuerzos para construir ciudades y comunidades sostenibles y resilientes de manera de minimizar en prospectiva el número de refugiados climáticos. Desde 1994 la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMUNCC) fundamentó a través de su panel de científicos que estos sucesos eran consecuencia natural de la intervención humana (un fenómeno antropógeno) en el planeta. Asociado mayormente a la quema de combustibles fósiles, el cambio de uso de suelo, la explotación agrícola ganadera intensiva que genera grandes cantidades de metano y otros gases, y sumado al derroche en el uso de los recursos naturales: energía, agua, minerales, etc. Agravado por una población que crece en promedio el 1,8% anual, y debido a una cultura de consumo desmedida promovida durante décadas, que tiene además como consecuencia la generación de residuos promedio de 1,7kg/día por habitante.

La huella de carbono (o huella ecológica) medida en toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂eq) marca los patrones de consumo y desecho de los individuos, las comunidades, los negocios, y las naciones, y ha demostrado rigurosamente que se sobre utiliza el capital natural del planeta por más del 25% según muchos estudios y entre ellos el reporte bienal de Argentina ante la CMUNCC (2015).

2.2 No hay futuro predeterminado: hay futuros posibles

La prospectiva no es predicción ni pronóstico, ya que al aplicar el concepto de tecnologías de análisis futuros (TFA), basado en creatividad, métodos descriptivos y matrices, métodos estadísticos, opinión de especialistas, monitoreos y sistemas de inteligencia, modelamiento y simulación, escenarios, análisis de tendencias, evaluación y decisión/acción, juegos de actores, da cuenta que es un proceso mucho más complejo según explica Beinstein, (2016) en el “Manual de Prospectiva”. La metodología de “Escenarios”, brinda posibles vías de futuro, muestra que el propósito general no es predecir el estado futuro del sistema más probable, sino evaluar la factibilidad y deseabilidad de los diferentes escenarios. El concepto clave es que no hay un futuro predeterminado, hay futuros posibles. Lo importante es definir las fuerzas impulsoras (drivers) y barreras que pueden llevar al futuro, tanto las tendencias visibles hoy como las rupturas inimaginables según Mari, (2021). Siguiendo con Mari (2021) existen tres aspectos fundamentales: “....el diagnóstico: mirar al pasado: la dinámica que ha llevado al momento presente, la extrapolación de tendencias: cómo sería el futuro si todo siguiera igual, la cuestión: ¿es el escenario tendencial el más probable? Los futuros alternativos: determinados por los factores de cambio (drivers)”.

Teniendo en cuenta estos conceptos, un ejemplo es la determinación de los posibles escenarios climáticos que mediante estudios de variables atmosféricas realizan los científicos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), con diagnóstico de más de 30 años, información de los parámetros en el presente, y extrapolación de tendencias con modelos de simulación climática en supercomputadoras, allí además se van incorporar los factores de ruptura o cambio de la tendencia, que podría ser detener la emisión de GEI (carbono neutralidad 2050), u otras innovaciones tecnológicas que modificaran el porcentaje de CO₂, y esto genera diferentes escenarios, unos catastróficos otros deseables (sobre los últimos se trabaja armando políticas públicas, estrategia de mitigación y adaptación, etc.).

2.3 Metas planteadas en la Argentina

Dentro del plan de acción que el gobierno nacional llevaba a cabo (hasta diciembre de 2023) en el cumplimiento de las metas planteadas para 2030,

la iluminación sostenible, es un sector donde se apuesta a lograr una importante remisión de GEI en función de los diseños eficientes, nuevas tecnologías y aplicación de mantenimiento preventivo.

La Argentina comienza su camino de compromisos en esta problemática en 1994 cuando adhiere por ley nacional 24.295 a la CMNUCC, y además en la reforma constitucional en ese mismo año se incorpora el concepto de desarrollo sostenible en el artículo 41. Posteriormente ratifica el Protocolo de Kioto no como miembro sino como país parte, con responsabilidades comunes pero diferenciadas, y años después se aprueba el Acuerdo de París bajo la CMNUCC mediante la ley 27.270/16. Éste establece que todos los países parte deben presentar y actualizar periódicamente sus contribuciones nacionalmente determinadas (NDC).

La meta absoluta establecida en la NDC de “no exceder la emisión neta de 483 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂eq) en el año 2030” (ver fig. 1), fue asumida mediante un proceso de validación y consenso gubernamental, jurisdiccional y con el involucramiento de diversos sectores de la sociedad. El cumplimiento de esta meta se logrará mediante la implementación de una serie de medidas de mitigación a lo largo de la economía focalizando en los sectores de energía, agricultura, bosques, transporte, industria y residuos. La ley 27.520/19 de “Presupuestos mínimos para la adaptación y mitigación al CC” configura otro instrumento para impulsar las políticas públicas. El marco para la acción de largo plazo (ELP) 2021 se correlaciona con el propuesto para el “Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático” (PNAMCC), y es un instrumento de política nacional, conjuntamente sigue el camino marcado en la Segunda NDC.

La transformación del sistema energético hacia un futuro de carbono neutralidad en la Argentina, según el ELP (2021) “debe ser justa, asequible y sostenible, y debe tener simultáneamente consistencia social, económica, fiscal, y financiera”, porque incluye cambios tecnológicos y modificaciones tanto en la forma en la que se genera energía, como en hábitos y comportamientos arraigados por el uso del recurso. La transición debe fortalecer las capacidades de desarrollo del país, por lo cual se dará a través de un sendero progresivo de adquisición de competencias tecnológicas y productivas fundamentadas en la complementariedad estratégica de capacidades

y recursos propios.

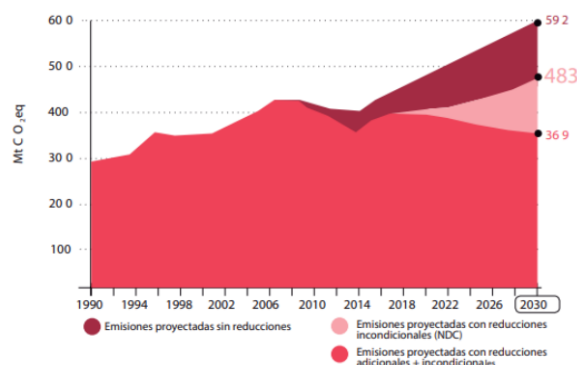


Figura 1: Meta de mitigación. Fuente: Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al CC

Propender a ofrecer iluminación de calidad junto a otros servicios incluidos en la vivienda social rural (calefones solares, por ejemplo), es aportar a la temática más amplia del abordaje del Cambio Climático desde la mitigación de GEI mediante eficiencia energética.

2.4. Vivienda digna y ODS

El Estado al proveer la vivienda social rural contribuye al cumplimiento de algunos de los ODS que instan a lograr la igualdad y la dignidad de las personas, el nro. 7: garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos; el nro. 11: lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles; el nro. 12: garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles; y el nro. 13: adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos extremos son metas posibles.

En el Objetivo 7, ONU (2015) la meta 7.3 refiere: “De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética”. Es un desafío que compromete a todos, pero hace especialmente responsables a los gobiernos.

En este camino de pensar la transición se requiere analizar la matriz eléctrica de Argentina actual, con generación térmica 52,33 %, hidráulica mayor a 50MW 27,34 %, renovables 11,74 % (Leyes 26.190 y 27.191), 8,52 % nuclear, e importación 0,05% los datos de CAMMESA (2024) se muestran en la figura 2, y aún no se aproximan a las metas planteadas en el “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica” Ley 27.191/15, reglamentada por el decreto N°531/16 de energías renovables, que exigía que

cada sujeto con cierto consumo está obligado a alcanzar la incorporación mínima del ocho por ciento (8%) del total del consumo propio de energía eléctrica, con energía proveniente de las fuentes renovables, al 31/12/2017, e ir incrementando ésta hasta el 31/12/2025, donde deberán alcanzar como mínimo el veinte por ciento (20%) del total del consumo propio de energía eléctrica. Se debe especificar que el 11,74% de aporte renovables lo constituyen eólica, solar e hidráulica menor a 50MW.

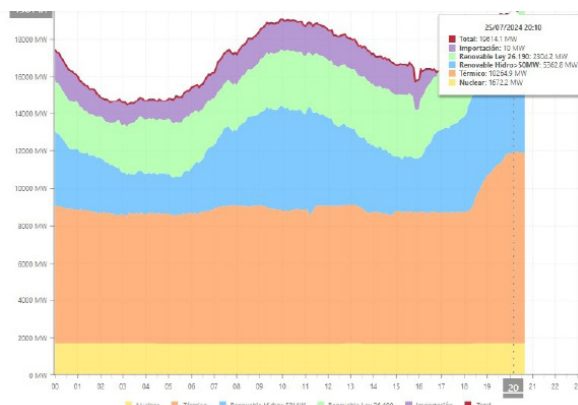


Figura 2: Demanda actual 24/07/2024 de energía total generada e importada. Fuente CAMMESA

La eficiencia energética constituye la mejor y más limpia herramienta para disminuir los gases de efecto invernadero. Debido a que, ahorrando energía eléctrica, se evita emitir toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera, y esto es posible diseñando sistemas eficientes, utilizando luminarias y fuentes de calidad, explotando y manteniendo las instalaciones de iluminación aplicando programas enmarcados en un contexto de planeamiento sostenible, según Raitelli et al (2008) y Rosenfeld (2007).

METODOLOGÍA

3.1 Premisas adoptadas y herramientas utilizadas

Con el objeto de cuantificar la hipótesis que la vivienda social construida en Santiago del Estero se presenta como una oportunidad para reducir emisiones de GEI, mediante la instalación de fuentes y luminarias eficientes, deberán analizarse diferentes conjuntos lámpara+luminaria para dos situaciones: alimentación con 220V CA, y 12V DC.

Antes de comenzar los registros se procede a hacer la lectura de los niveles de tensión de red

convencional de 220V CA empleando una pinza amperométrica marca Fluke modelo 325 400A, y se verifica en la batería utilizada los 12V CD con multímetro digital auto rango marca Brinna premium compacto. Las mediciones de iluminancia horizontal se determinan con un luxómetro marca Lutron modelo LM-8000, bajo norma ISO-9001, en el ambiente cocina-comedor de la vivienda social, realizando la medición para cada conjunto lámpara+luminaria, y lámpara desnuda, siguiendo las recomendaciones de la Norma IRAM AADL J 20-06 iluminación artificial de interiores, y realizando registros de iluminancia en cuadrícula sobre plano de trabajo. La justificación de la adopción de esta metodología está relacionada a las actividades que se llevan a cabo en el área del comedor de una vivienda social que suman en algunas oportunidades las tareas escolares, y labores domésticas como la costura a mano, y el planchado. Por eso la iluminancia se registra sobre plano de trabajo a 0,85 cm del piso, y el criterio aplicado se relaciona a la cantidad de luz requerida para esas tareas.

En la elección del conjunto óptimo luminaria+lámpara se tendrá en cuenta la eficiencia, el nivel de iluminancia, la uniformidad y el confort visual. Con respecto a este último además de considerar el deslumbramiento, se aplicará el modelo de Arie Andries Kruithof, quien mediante experimentos psicofísicos determinó curvas que describen las condiciones de iluminación en la zona delimitada de modo empírico, como agradables y cómodas y, por el contrario, las que están fuera de esta zona, se consideran incómodas, desagradables o no naturales.

Una vez escogido el conjunto óptimo luminaria+lámpara desde el punto de vista de la eficiencia y el confort visual se procede a calcular el potencial ahorro anual de energía en MWh, y en toneladas equivalentes de dióxido de carbono [tCO₂eq], la cual es una unidad de energía muy usada, computada si se contrasta este consumo hipotético, con el registro actual, teniendo en cuenta el uso (habitual) de lámparas desnudas incandescentes de 75W y LFC 15W en las 27.000 viviendas consideradas.

La estimación del factor de emisión de Argentina se realizará de acuerdo con la "Tool to calculate the emission factor for an electricity system". Versión 7 de las Naciones Unidas. La información utilizada proviene de la "Ex Secretaría de Energía, Subsecretaría de Planeamiento Energético, Dirección Nacional de Escenarios y Evaluación de Proyectos. Dirección de Información Energética",

Tecnología de la Información. Fecha de creación 15/03/23.

La herramienta utilizada para la estimación del factor de emisión de la red se puede aplicar para estimar el MO (margen de operación), BM (margen de construcción) y / o CM (margen combinado) para calcular las emisiones de línea base para un proyecto que sustituye a la energía generada en la red eléctrica que es donde el proyecto suministra electricidad o un proyecto genera ahorros de electricidad, que hubiese sido proporcionada por la red (por ejemplo, proyectos de eficiencia energética del lado de la demanda). En este caso usando datos del año 2019, debería emplearse un factor de emisión de 0,4071 tCO₂/MWh, que a la fecha debido a las modificaciones de la matriz eléctrica podría ser menor. Este factor de emisión se multiplica por la energía ahorrada en MWh (A), y de esa expresión se obtiene la energía expresada en tCO₂eq (B) como se aprecia en la ecuación (1).

$$B[tCO_2eq] = 0,4071 \left[\frac{tCO_2}{MWh} \right] \times A[MWh] \quad (1)$$

3.2 Etapas del procedimiento

- Selección de fuentes y luminarias para tomar los registros. Se trabaja con LED 6W clara de filamento cálida, LED 9W cálida, LED 9W fría, LED 14W cálida, LED 14W fría, Globo LED 18W cálida, fluorescente compacta 15W cálida, todas ellas ensayadas con tensión de red, y por último utilizamos la LED 18W DC alimentada mediante una batería para sistemas tecnológicos basados en energías renovables del tipo gel sellada. Las luminarias son tipo campana de aluminio en dos tamaños, símil campana de plástico y lámpara desnuda.
- Armado y conexión de los distintos conjuntos lámpara -campana.
- Medición de tensión de red eléctrica con pinza amperométrica. Y verificación de voltaje en la batería.
- Registros de iluminancia en comedor de vivienda social/rural.
- Fotografías de la luminaria y/o lámpara desnuda, y otros elementos del equipo empleados para tomar los registros.
- Diseño de las tablas comparativas
- Selección de la alternativa óptima
- Cálculo de la remisión anual de GEI por vivienda individual, y teniendo en cuenta el consumo en toda la vivienda, y las unidades construidas durante los últimos 13 años.

RESULTADOS

4.1 Análisis de parámetros de iluminación con alimentación de red 220V

En Tabla I se muestran las lámparas utilizadas, y sus características nominales: eficacia luminosa [Lum/W], temperatura de color en Kelvin, y vida útil aproximada publicada por los fabricantes teniendo en cuenta un número de ciclos de encendido. Las fotografías de las lámparas nos muestran la diversidad de fuentes en el mercado actual. Se ha escogido entre las primeras marcas comerciales, diferentes modelos y potencias para analizar su comportamiento, teniendo en cuenta al tratarse de tecnología LED, el brillo (deslumbramiento) que se produce con una lámpara clara, puede ser un problema a la hora de recomendarla, más allá de su alta eficacia. El confort visual debe ser evaluado correctamente. El índice de reproducción de color para las lámparas LED de este tipo varía entre $80 \leq IRC \leq 90$, y la lámpara fluorescente compacta de 15W, tiene un $IRC \leq 80$. Las incandescentes con su espectro continuo de radiación, imitan a la luz natural en cuanto al rendimiento de color con un $IRC=100$. En la tabla I se muestra una lámpara incandescente de 75W de uso residencial general y cuya fabricación y comercialización fue prohibida por la Ley 26.473 en todo el territorio de la República Argentina desde 31/12/2010. Posteriormente la Ley 27.492/2018, “Prohibición de importación y comercialización de lámparas incandescentes y halógenas”, amplía esta proscripción para las incandescentes halógenas que contemplan el doble de vida útil (2000h) y una mejora no significativa de eficacia 15-18Lm/W. En la actualidad pueden adquirirse en el mercado informal provenientes de países limítrofes, y por estas razones, adoptamos el criterio de trabajar sólo con los valores nominales y realizar un cálculo estimado.

En la figura 3 se observa un diagrama de barras con la prestación de cada fuente, según datos publicados por los fabricantes, estos niveles deberían conjugarse con la apertura de haz de alguna de ellas el caso la Philips LED Globo de 18W posee una apertura de 200° lo que lo hace muy atractivo para algunas combinaciones de luminaria y fuente, y las de marca Ledvance de 14W, que tienen 140° de apertura, un ángulo que favorece el uso de una luminaria tipo campana.

En el diagrama de barras solo se muestra la eficacia en condiciones estándar para cada lámpara, el flujo

luminoso entregado por cada vatio consumido, sin considerar su respuesta al ser instalada en el ambiente en combinación con un artefacto. Y otras cuestiones inherentes a la eficiencia y al confort visual.

Tabla 1: Características de las lámparas utilizadas para en los diferentes arreglos luminaria/lámpara

Fuente	Imagen	Temp. de color	Eficacia Lum/W
Potencia			
Vida útil			
Philips LED 9W		3000K	75
15.000 horas		cálida	
Sica LED 9W		6400K	8
25.000 horas		fría	
Ledvance LED 14W		3000K	77
25.000 horas		cálida	
Ledvance LED 14W		6500K	86
25.000 horas		fría	
Philips LED 6W		3000K	95
Clara de filamento		cálida	
15.000 h		3000°K	110
Philips LED 18W		cálida	
Globo			
25.000 horas		2700K	53
Osram LFC 15W		cálida	
Dulux			
4000		2700K	12
horas		cálida	
Tungsran incandesce			
75W		6400K	40
1000		fría	
horas			
Werke LED 18W 12V DC		6400K	40
15.000 horas		fría	

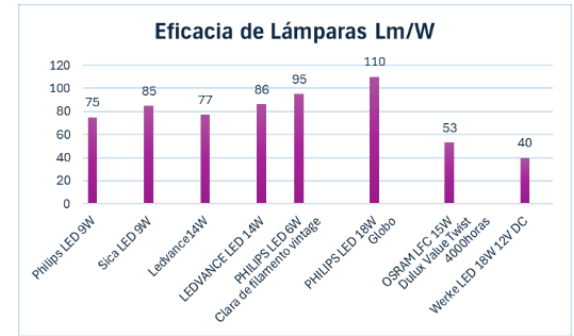


Figura 3: Gráfico de Eficacia de lámparas construido según datos tabla 1

En la figura 4 se exhibe las dos luminarias tipo campana de aluminio, empleadas para analizar las condiciones de iluminación, con 7 tipos de lámparas en CA y 1 en DC.



Figura 4: Luminaria tipo campana de aluminio en tamaño grande y pequeño

Las diferencias de los artefactos seleccionados pueden observarse en la figura que antecede, la campana de aluminio grande posee un acabado menos especular debido a su uso previo, tiene un diámetro de 44 cm y una altura de 25cm. La campana pequeña (nueva) de acabado especular posee un diámetro de 30cm y una altura de 10cm. Al emplear diferentes combinaciones con fuentes de variadas potencias y formatos, el resultado es interesante porque en algunos casos el apantallamiento de la lámpara produce la disminución del deslumbramiento directo y mejora el confort visual.

Los niveles de iluminancia y uniformidad para luminaria tipo campana grande, se exhiben en la tabla II. En todos los casos (para todas las luminarias) las mediciones se hicieron sobre plano de trabajo a 85cm del piso, y el centro fotométrico de la luminaria o lámpara desnuda se estimó (medición aprox.) 92cm desde el plano de trabajo, ya que la luminaria colgante se instaló a 63cm desde el cielorraso. Para establecer la grilla de medición se debe conocer el número de puntos mínimos representativos, para ello primero se calcula el índice de local k que describe el comportamiento geométrico del local en base a su altura, ancho y largo (cocina-comedor), y obtenido éste se aplica la ecuación (2).

$$N = [k + 2]^2 \quad (2)$$

Tabla 2: Registros de E y cálculo de uniformidad para fuentes con campana grande

Fuente	E [Lux]	$G_1[E_{Min}/E_{Med}]$	$G_2[E_{Min}/E_{Max}]$
LED 9W cálida	157	0,73	0,4
LED 9W fría	202	0,58	0,31
LED 14W cálida	261	0,72	0,41
LED 14W fría	278	0,73	0,41
LED 18W cálida	128	0,78	0,41
LED 6W c/filamen cálida	92	0,56	0,52
LFC 15W cálida	145	0,68	0,45

Realizando la lectura en cada punto se obtuvo por medición las iluminancias $E_{máx}$, y $E_{mín}$, y E_i (de todos los demás puntos) y mediante un simple cálculo aritmético se obtuvo la E_{med} y las uniformidades g_1 y g_2 .

Similar procedimiento se realizó para la campana de Aluminio pequeña con acabado especular, y lámpara desnuda y sus resultados se observan en la tabla III y la tabla IV, respectivamente.

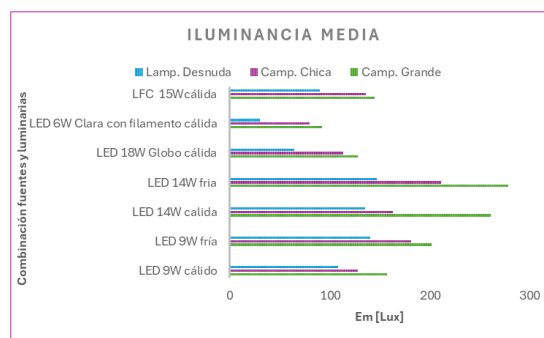
Con los datos de las tablas II, III, y IV se construyó el gráfico de la figura 7, comparando los registros para las tres alternativas mencionadas. En todos los casos la luminaria tipo campana grande mostró un comportamiento superior, especialmente al combinarla con las lámparas marca Ledvance 14 W fría y cálida, esta respuesta era previsible debido a su ángulo de apertura de 140 grados.

Tabla 3: Registros de E y cálculo de uniformidad para fuentes con campana grande

Fuente	E [Lux]	$G_1[E_{Min}/E_{Med}]$	$G_2[E_{Min}/E_{Max}]$
LED 9W cálida	128	0,64	0,39
LED 9W fria	181	0,76	0,53
LED 14W cálida	163	0,48	0,3
LED 14W fria	211	0,46	0,28
LED 18W cálida	113	0,67	0,38
LED 6W c/filamen cálida	80	0,48	0,2
LFC 15W cálida	136	0,67	0,53

Tabla 4: Registros de Iluminancia E y cálculo de uniformidad para lámpara desnuda

Fuente	E [Lux]	$G_1[E_{Min}/E_{Med}]$	$G_2[E_{Min}/E_{Max}]$
LED 9W cálida	108	0,82	0,61
LED 9W fria	140	0,84	0,63
LED 14W cálida	135	0,74	0,57
LED 14W fria	147	0,83	0,64
LED 18W cálida	64	0,85	0,63
LED 6W c/filamen cálida	30	0,76	0,75
LFC 15W cálida	90	0,62	0,45

**Figura 5:** Iluminancia media obtenida por registros para distintas combinaciones luminaria-lámpara y lámpara desnuda

En la fig. anterior se representa el comportamiento de cada fuente al asociarse con diferentes luminarias. Puede claramente observarse en color verde, la respuesta de mayor nivel de iluminancia de todas las fuentes con la luminaria tipo campana grande. Asimismo, teniendo en cuenta que los valores recomendados de iluminancia general para vivienda (interiores), según la Norma IRAM AADL J20-06 para cocina-comedor es 200 [Lux], las alternativas que satisfacen esos requerimientos serían el conjunto lámpara de LED + campana grande, para tres variantes lámparas: LED de 9W 6400K (202 Lux), LED 14W 3000K (268 Lux), y LED 14W 6500K (271 Lux); y el conjunto lámpara LED 14W 6500K con campana pequeña (211 Lux).

A continuación, se procede a analizar la mejor alternativa fijando dos criterios fundamentales: la eficiencia energética del conjunto (Lúmenes/W), los parámetros exigidos por las normas iluminancia media y uniformidad, y el confort visual asociado a varios factores de los cuales abordamos algunos. Entre las cuestiones vinculadas al confort visual, es interesante sumar el modelo de Kruithof, cuyo diagrama que se observa en la figura 6, define tres zonas: la A en la cual la atmósfera se percibe demasiado cálida, pesada, artificial, la zona B es confortable y admite determinados niveles de iluminancia conjugados con cierta temperatura de color, y la zona C donde la atmósfera es demasiado fría, se percibe lúgubre véase figura 7. Esta teoría sirve para aproximarse a las condiciones deseables de iluminación, si bien existen estudios posteriores replantean la exactitud científica de esto.

El deslumbramiento no será considerado debido a dos hechos que minimizan el riesgo: las fuentes claras han sido descartadas en el proceso; y las luminarias trabajan como artefactos apantallados por su altura de suspensión, dirigiendo el flujo luminoso hacia el plano de trabajo como puede

apreciarse también en la figura 7.

Continuando con las condiciones que aportan al confort visual, otro parámetro es el índice de reproducción de color de una fuente, el cual es independiente de la temperatura de color de esta, y se relaciona con la composición espectral de la fuente, en base a la luz natural que tiene un IRC=100, por tener un espectro continuo, y de allí las fuentes artificiales se evalúan con índices menores. Esto provoca una distorsión de los colores que se traduce en una percepción desagradable. Las lámparas LED que se comercializan actualmente en Argentina, poseen

de un IRC próximo a 90, que supera el índice de las lámparas fluorescentes compactas que es aproximadamente 70-80.

Teniendo todo lo anteriormente descrito en consideración, se aplicará el criterio de combinar el nivel óptimo de iluminancia media, uniformidad, y color de fuente, acorde a las curvas de Kruithof. Según los cálculos realizados a partir de los registros en grilla, aquellos conjuntos luminaria-lámpara que superan el nivel recomendado $E_m=200\text{Lux}$, en todos los casos pertenecen a las fuentes LED, y entre éstos, uno con campana pequeña y tres con la luminaria tipo campana grande, en la tabla V se presentan las opciones a analizar teniendo en cuenta el criterio de confort visual.

Tabla 5: Luminaria y fuente con $E \geq 200\text{Lux}$

Luminaria y fuente	Iluminancia [Lux]	Temp. de color K
Campana pequeña + 9w	211	6500
Campana grande + 9W	202	6400
Campana grande + 14W	268	3000
Campana grande + 14W	271	6500

Naturalmente la única opción que cumple ambas condiciones, iluminancia mayor a 200 Lux y confort visual comprendido en la zona B de la curva de Kruithof (atmósfera agradable), es el conjunto campana grande y lámpara LED 14W cálida, véase figura 6.

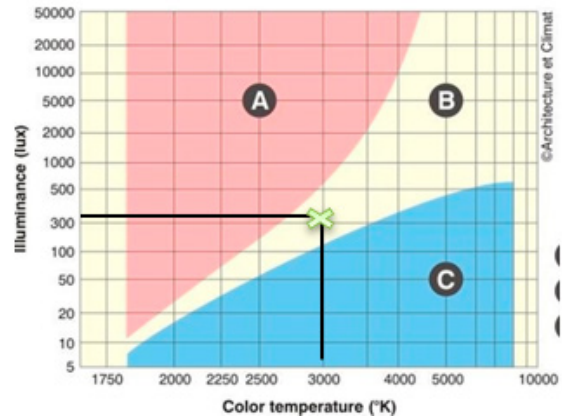


Figura 6: Diagrama de Kruithof. En el punto señalado trabaja la luminaria y fuente escogida. Fuente: <https://denledchatluongcao.vn/nhiet-do-mau-den-led>



Figura 7: Campana grande con lámpara de 14W cálida (izquierda), y 14W fría (derecha)

4.2 Análisis de parámetros de iluminación para instalación en vivienda alimentada por 12V DC

Utilizando el luxómetro descrito anteriormente se tomaron los registros de iluminancia en los 16 puntos de la grilla para 4 situaciones; campana de aluminio grande, pequeña, lámpara desnuda y símil campana (usando una tapa de plástico blanco), en todos los casos empleando una lámpara LED de 18W CD 12V, 700 lúmenes, y 15.000 horas de vida útil, los resultados obtenidos se muestran en la tabla VI.

El sistema es alimentando con una batería marca Branik, JM12-55-AGM-GEL, que utiliza tecnología de plomo-ácido y es sellada, véase figura 8. Antes de realizar la conexión se procedió a verificar el voltaje, con multímetro digital auto rango marca Brinna Premium Compacto, registrando 12V.



Figura 8: Batería tecnología AGM-GEL sellada e y lámpara 12V 18W DC empleados en el ensayo

La batería está diseñada para almacenamiento cíclico de energía solar, las características de la batería empleada son: alto rendimiento resistente a la corrosión Pb-Ca, rejilla multi-aleación, alta densidad de energía y densidad de potencia, capacidad optimizada de alta corriente instantánea, excelente capacidad de descarga de ciclo profundo, fuerte rendimiento a altas y bajas temperaturas, tecnología de sellado de precisión, y larga vida útil aproximadamente 10 años. Este tipo de baterías no necesitan mucho mantenimiento ni emiten gases nocivos, no conllevan peligro de derrame y tampoco generan vapores. Por ello se pueden instalar en sitios cerrados o sin ventilación, permiten descargas profundas y continuadas a diferencia de otros tipos de batería.

En la figura 9 se muestra un gráfico descriptivo de la iluminancia media obtenida por registros para lámpara 18W 12V DC desnuda, en campana de Al grande, pequeña y símil campana de plástico blanco, esta última introducida en el estudio para probar si una luminaria improvisada brinda mejores resultados que una lámpara desnuda.

Tabla 6: Registros de E, y G para la condición lámpara LED 18W-12V DC

Luminaria	Imagen	E [Lux]	G ₁	G ₂
Lámpara desnuda		87	0,69	0,48
Camp- Al grande		141	0,51	0,25
Camp -Al pequeña		137	0,57	0,27
Simil camp. plástico		105	0,66	0,45

El comportamiento de la lámpara de 18 W cálida con alimentación de 12V DC, no presenta tanta discrepancia para las diferentes opciones de luminaria-campana, pero su uso como fuente desnuda muestra una iluminancia marcadamente inferior. Por lo cual en este estudio se concluye que siempre es recomendable utilizar una luminaria tipo campana para orientar el flujo luminoso hacia las zonas donde éste es requerido, y reducir el flujo hacia el hemisferio superior. Al tratarse en este caso de una fuente cálida (3000K) se aconseja

escoger la luminaria campana de aluminio grande que ofrece una Iluminancia media de 141 Lux.

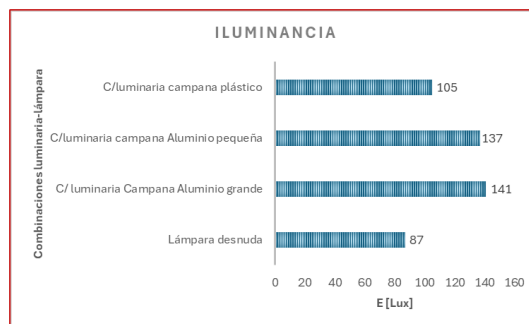


Figura 9: Iluminancia media obtenida por registros para lámpara 12V DC

4.3 Cálculo de la remisión potencial en las toneladas de CO₂ equivalente

Para proceder a realizar el cálculo de toneladas equivalentes de dióxido de carbono no emitidas al ambiente por eficiencia energética en iluminación, existen diferentes metodologías, siempre teniendo en cuenta que variará de un país a otro, según la composición por fuentes de generación en su matriz eléctrica, e incluso de un año a otro, ya que se producen variaciones en los niveles de generación hidroeléctrica o aportación de las nuevas energías renovables (eólica, solar, hidráulica menor a 50MW). Aunque existen algunas herramientas que permiten ser empleadas en diferentes contextos.

Tomando una vivienda social tipo de dos dormitorios, si se sustituyen 6 lámparas (cocina-comedor, dormitorio, baño, 1 lámpara de mesa, 1 luminaria en el portal de ingreso), se tendría en base a la comparación de eficacia de fuentes, corroborado con los registros de iluminancia, una alternativa como la presentada en la tabla VII, si se reemplazan todas las lámparas en cada vivienda de manera de igualar los niveles de iluminancia obtenidos, y con el criterio que otras dependencias del hogar (dormitorios, baño) tienen menores requerimientos que el ambiente cocina-comedor, y pueden ser satisfechos con lámparas LED de 9W.

Asimismo, esta potencia lumínica instalada equivalente para cada tecnología de iluminación deberá ser transformada en la energía anual consumida teniendo en cuenta las horas de encendido para todas las estaciones del año, donde varía el número de horas de luz diurna, y además se considera una familia de 4 miembros o más, por lo cual pueden estar encendidas simultáneamente varias lámparas. Adoptando un

criterio conservador de la iluminación utilizada, se consideró 4 horas diarias de uso, para las 6 luminarias. Un principio medurado del encendido que contribuiría a un ahorro significativo y debe ser promovido en forma continua entre los usuarios, siempre teniendo en cuenta que las fuentes LED tienen su ciclo de vida asegurado mientras alternen períodos mayores a 15 minutos de apagado y 45 minutos de encendido, razón por lo cual la vida útil de las lámparas de un baño muestra un comportamiento de reducción de esta. La vida útil en el caso de las fuentes luminosas de LED y OLED, es definida como el tiempo en horas entre el comienzo de su uso y el momento en que, en el 50 % de una población de fuentes luminosas, la producción de luz se ha degradado progresivamente hasta un valor inferior al 70 % del flujo luminoso inicial. Se denomina también vida útil L70B50 para la normativa internacional. Para medir esto la industria ha creado el estándar de medición IES LM80-80-2008 y el IES TM21-2011 que proyecta el mantenimiento a largo plazo del flujo luminoso de las fuentes de luz LED.

El cálculo de las toneladas de CO₂ remitidas se realiza empleando factor de emisión adoptado de 0,4071 tCO₂/MWh, y aplicando la ecuación (1) citada en la sección metodología.

La tabla VII construida obteniendo la potencia instalada y la energía consumida diaria y anual muestra el importante ahorro energético debido a la eficiencia de las nuevas tecnologías, y a la magnitud del proyecto sobre el cual se realiza la estimación (27.000 u).

Al transformar los MWh en tCO₂ mediante la ecuación (1), se consigue una remisión de 5231 tCO₂ al reemplazar la tecnología incandescente por LED; y una disminución de 773 tCO₂ con la sustitución de LFC por LED.

Tabla 7: Tecnologías de iluminación y tCO₂

Tecnolog. de iluminación	Energía cons. diaria x vivienda	Energía cons. anual x 27.000 u	tCO ₂
			eq.
LED	64Wx4h=	2.522,8 MWh	1.028 tCO ₂
2x14W	256Wh/día		
4x9W			
Incandesc.	390Wx4h=	15.373,8 MWh	6.259 tCO ₂
2x75W	1560Wh/día		
4x60			
LFC	112Wx4h=	4.415,0 MWh	1.797 tCO ₂
2x26W	448Wh/día		
4x15W			

Los árboles son considerados pulmones del planeta gracias a su capacidad de absorber CO₂ y producir oxígeno, aunque puede variar, según información publicada por Garret (2021) de la Fundación Aquae, un árbol absorbe aproximadamente entre 10kg y 30 Kg de CO₂ al año. Con estos datos se determinará la cantidad de árboles que representaría un proyecto de eficiencia energética por sustitución de lámparas y utilización de luminarias en vivienda social.

En la figura 10 se puede apreciar las toneladas equivalentes de CO₂ que se producen con los diferentes sistemas de iluminación anualmente, y su relación con la cantidad de árboles que esto representa. Observando estos números aún e la mejor condición de eficiencia cada familia que habite el hogar debiera plantar 2 (dos) árboles para cubrir los 51.000 que representa su consumo anual.

Con respecto a la tecnología LED entonces, su instalación sería equivalente a plantar 39.000 árboles según si se compare con LFC por año, lo que implica un número muy interesante.

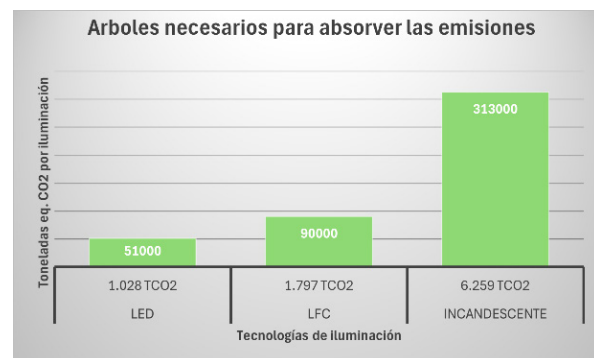


Figura 10: Arboles necesarios para absorber las teq. CO₂ generadas anualmente por la iluminación en vivienda rural

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos al estudiar el comportamiento de una luminaria simple tipo campana metálica con fuentes LED se interpretaron teniendo en cuenta el incremento de eficacia luminosa (eficiencia), y la condición de confort visual, ejes de la calidad de iluminación. La creación de una atmósfera agradable involucra la relación existente entre iluminancia y temperatura de color de la fuente (Kruithof), y además el IRC ≈90 para fuentes de LED de uso doméstico. Hay otros elementos que se conjugan en la ecuación, tal como el color y acabado de paredes y techo, y la presencia de obstrucciones en el ambiente. La eficiencia en iluminación es una herramienta

válida para la reducción de emisiones, en poblaciones dispersas del interior de Santiago del Estero, así como lo es la instalación de sistemas tecnológicos basados en energías renovables especialmente fotovoltaico aislado, o mini eólica para zonas sin abastecimiento de red eléctrica. Se realizó el ensayo simulando las condiciones de alimentación con 12V DC, como una manera de mostrar la situación de generación aislada donde la emisión de CO₂ es cero. Aunque la eficacia de lámpara LED utilizada no era alta, resultado suficiente y se demostró que su instalación con luminaria tipo campana mejoraba la prestación. Cumplir la Agenda 2030 de la ONU y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, es un compromiso asumido por la República Argentina. Y esto implica poner la igualdad y la dignidad de las personas en el centro y llamar a cambiar el estilo actual de desarrollo, respetando el medio ambiente y el derecho intergeneracional. Desde cada pequeña iniciativa, se aporta para edificar ese “Futuro deseado” que es posible y necesario, un futuro de desarrollo sostenible, inclusivo y con visión de largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado por la secretaria de Ciencia y Técnica de la FCEyT UNSE, Dra. María José BENAC, en el marco de los proyectos “Expectativas en horizontes posibles de desarrollo humano a partir de energías no convencionales en áreas rurales con población dispersa de SDE” Código: 23/C168, y “Estudio de viabilidad técnico económico para optimizar instalaciones de A°P° LED en vías de circulación de centros urbanos con suministro de energía híbrido solar FV- red eléctrica” código 26/C194.

REFERENCIAS

Aguilar, S. et al. (2019). Plan Nacional de adaptación y mitigación al cambio climático al 2030, Argentina. Ed. Dirección Nacional de CC. Recuperado 14/09/2023

<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/plan-nacional>

Beinstein, J. (2016). Manual de Prospectiva. Guía para el diseño e implementación de estudios prospectivos. ISBN 978-987-1632-59-6. Ed. Ministerio de Ciencia, tecnología e innovación productiva.

CAMMESA. Demanda real y prevista del SADI.

Matriz de generación eléctrica Argentina. Recuperado el 25/07/2024

https://cammesaweb.cammesa.com/operacion/?doing_wp_cron=172195248.5969049930572509765625#opmaxhist

CEPAL Org. ONU (1948). Objetivos de desarrollo sostenible en la Agenda 2030.

Recuperado 20/07/2023 <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>

Garret C. (2021) Fundación Aquae. ¿Cuánto CO₂ absorbe un árbol? Madrid. Recup.03/04/2024

https://www.fundacionaquae.org/wp-content/uploads/2016/04/infografia_oxigeno.pdf

Gobierno de Argentina. La iluminación eficiente otro aliado del uso racional de la electricidad. Publicado el 06/11/2022. Recup. 13/03/2024.

<https://www.argentina.gob.ar/noticias/la-iluminacion-eficiente-otra-aliada-del-uso-racional-de-la-electricidad>

Gobierno de Argentina. Proyecto de Eficiencia Energética y Energía renovable en la vivienda social. aprobado 22/05/2023. Rec. 04/11/2023. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica-en-edificaciones/pronev-programa-nacional-de-etiquetado-de-viviendas>

Gobierno de Argentina. Cálculo del Factor de Emisión de CO₂ de la Red Argentina de Energía Eléctrica. Data.set (2013). Recup.30/03/2024

<https://datos.gob.ar/dataset/energia-calculo-factor-emision-co2-red-argentina-energia-electrica>

Gobierno de Argentina, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, noviembre 2015, Primer reporte bienal de actualización RA a la CMNUCC sobre CC. Recup.12/07/2022.

<https://unfccc.int/resource/docs/natc/argburl.pdf>

Gobierno de Argentina (2021). Estrategia de desarrollo resiliente con bajas emisiones a largo

plazo a 2050, Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Jefatura de Gabinete. Recuperado 22/07/2023.

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/estrategia_de_desarrollo_resiliente_con_bajas_emisiones_a_largo_plazo_2050.pdf

Kirschbaum C, Raitelli M, Rigali S, Quiroz F (2008). Reemplazo de lámparas incandescentes por FC, comparación de las condiciones operativas y de iluminación resultantes. Memorias del IX Congreso Panamericano de Iluminación, Rosario, Argentina. Ed. AADL.

Ley 24.295 aprobación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático sancionada 07/12/1993

<https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/0-4999/699/norma.htm>

Ley 26.190/06 y su modificatoria 27.192/15 Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables destinada a la producción de energía eléctrica sancionada 23/09/ 2015

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27191-253626>

Ley 27.520/19 Presupuestos mínimos para la adaptación y mitigación al Cambio Climático Global sancionada 20/11/2019.

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27520-333515>

Ley 27.270 aprobación del Acuerdo de Paris, sancionada 01/09/2016

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27270-265554>

Mari M, (2021) Documentos de clase, Posgrado Bases y herramientas para la gestión de adaptación y mitigación al cambio climático, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, UNQu, Unju, y PNUCC.

Norma IRAM AADL J 20-06 (1972) Iluminación artificial de interiores. niveles de iluminación IRAM. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. AADL. Asociación Argentina de Luminotecnia.

Norma IES LM80 o Medición del mantenimiento del flujo luminoso de las fuentes de luz LED) / IES TM21-2011 para fuentes de luz LED <https://www.es.lumistrips.com/lumistrips-blog/led-lifetime-es/>

ONU (2015) Objetivos de Desarrollo Sostenible en la Agenda de la ONU. Recuperado 15/09/2022

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

Raitelli, M. y Rigali S. (2008). Fotometría de luminarias, eficiencia energética y calidad en iluminación. Primera parte: Alumbrado de interiores. Revista Luminotecnia, Nro. 89 pag. 88-92. Marzo/abril 2008, Asociación Argentina de Luminotecnia (AADL).

<https://aadl.com.ar/index.php/revista/>

Rosenfeld E. et al, (2007). Ahorro de energía en el sector residencial su contribución a la disminución de gases de efecto invernadero (GEI). Avances en Energía Renovable y Medio

Ambiente. <https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/averma/index>

SOHOBI LIGHTING S.A. (2022). Gráfico de Kruithof que muestra la relación entre la temperatura de color de la luz y la iluminancia requerida. Cómo elegir la escala de temperatura color de led correcta. Recuperado el día 05/04/2024.

<https://denledchatluongcao.vn/nhiet-do-mau-den-led>