

ILUMINACIÓN SOLAR DE CARRETERAS

DANIEL BORTOLIN
ABEL SHANNON
NICOLAS PIERRI
SALVADOR GIL

CONSTRUCCIÓN INTELIGENTE

EN PROCESO DE DISEÑO

Contenido

introducción

1 - Iluminación, seguridad vial y desarrollo

- 1.1 Impacto de la iluminación en la seguridad vial a nivel internacional y en Argentina
- 1.2 Impacto económico esperable de la iluminación en la seguridad vial de las rutas en Argentina
- 1.3 La iluminación de las rutas y su impacto sobre el desarrollo sustentable

2 - Condiciones actuales de iluminación en las rutas nacionales

- 2.1 Pautas generales de iluminación
- 2.2 Condiciones actuales de la iluminación de las rutas argentinas

3 - Luminarias solares autónomas (LSA)

4 - Diseño óptimo por zona geográfica

5 - Mercado – equipos solares actuales

6 - Análisis técnico económico

- 6.1 Sistema de iluminación convencional – CAPEX
- 6.2 Sistema de iluminación solar – CAPEX
- 6.3 Operación y Mantenimiento de Sistemas Convencionales y Solares
- 6.4 Sistema de iluminación convencional - CVU:
- 6.5 Sistema de iluminación solar – CVU

7 - Cruce aislado – comparativa entre la iluminación solar y la convencional

8 - Iluminación de un tramo de una ruta – comparativa entre la iluminación solar y la convencional

9 - Ventajas ambientales y sociales de la iluminación solar autónoma

10 - Análisis socioeconómico

- 10.1 Resultados de análisis económico
- 10.2 Impacto macroeconómico de la iluminación de las rutas

11 - Alternativas de financiamiento

- 11.1 La seguridad vial y el federalismo de concertación
- 11.2 La problemática en la resolución de las necesidades de seguridad vial a nivel Municipal en las rutas nacionales o provinciales.
- 11.3 Propuesta de conformación de Fideicomisos Públicos para la mejora de la seguridad vial a nivel municipal

12 - Casos de éxito

13 - Conclusiones

14 - Referencias

15 - Anexos

- 15.1 Anexo 1: Método de cálculo para la puntuación de luminarias
- 15.2 Anexo 2: Cotizaciones CEZ

EN PROCESO DE DISEÑO

Introducción

La disponibilidad de iluminación en rutas primarias y secundarias es fundamental para el desarrollo social y económico del país. La iluminación ayuda a aumentar la seguridad vial, que es un requisito básico del transporte de bienes y personas, evitando accidentes producidos mayormente por la falta de la ella.

No sólo mejora las condiciones de seguridad vial, sino que es un elemento fundamental de desarrollo social e inclusión. En diversas rutas, las paradas de micros y colectivos están condicionadas a la existencia de una iluminación adecuada. Así, es frecuente que algunos barrios cercanos a las rutas no tengan un adecuado acceso al transporte público debido a la falta de iluminación.

En algunas zonas las redes eléctricas nos son accesibles o su distancia encarece los costos de iluminación. Estos puntos incluyen, por ejemplo, caminos de acceso en las zonas periurbanas, tanto a depósitos o industrias como a campos u hogares, puntos de seguridad al costado de la ruta para el detenimiento de vehículos, ingreso a puentes donde se disminuye la calzada, paradas de colectivos, entre otros.

En estos últimos años se han observado cambios significativos en el mercado de la energía a nivel mundial. El desarrollo de las energías renovables, en particular la eólica y solar fotovoltaica (FV), ha logrado reducir sus costos de generación de forma muy notable, lo que abre la posibilidad de reexaminar las formas de iluminación actuales.

Costos de Instalación PV

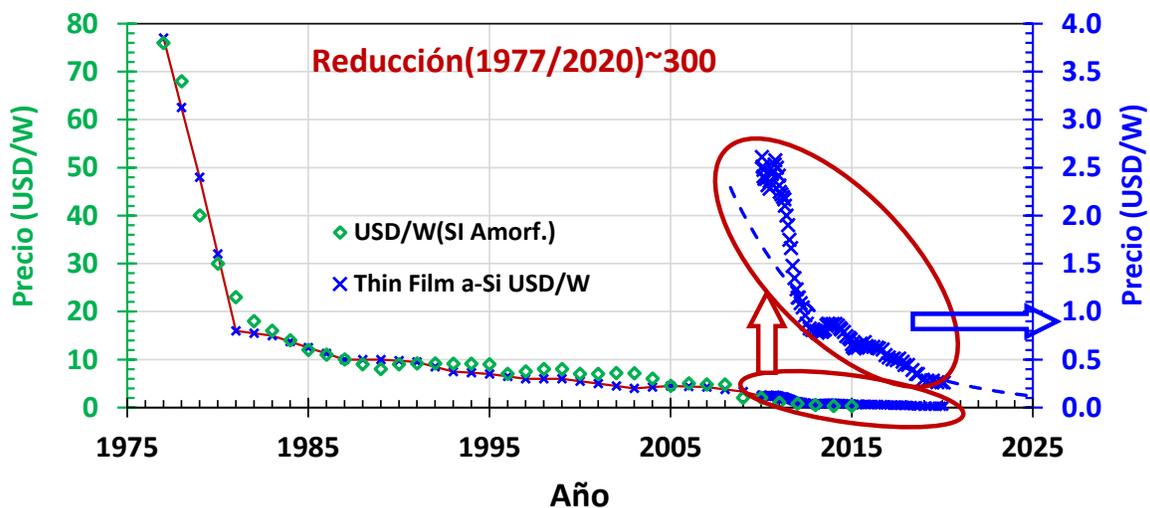


Gráfico 1. Evolución de los costos por watt de módulos fotovoltaicos (FV) de silicio. Los rombos verdes corresponden a celdas de Si Amorfo y las cruces azules a láminas finas de Si. (1), (2) La reducción de costo en los últimos 30 años fue de un factor cercano a 300.

En el gráfico 1 se muestra la evolución histórica y proyección de los costos de los módulos fotovoltaicos. La drástica reducción de estos costos, un factor del orden de 300 en los últimos 30 años, se debe tanto a la innovación tecnológica en la fabricación como al aumento de la escala de la producción.

De igual modo el costo de las baterías ha experimentado una reducción muy significativa en los últimos años, como se puede ver en el gráfico 2.

Costo Baterías

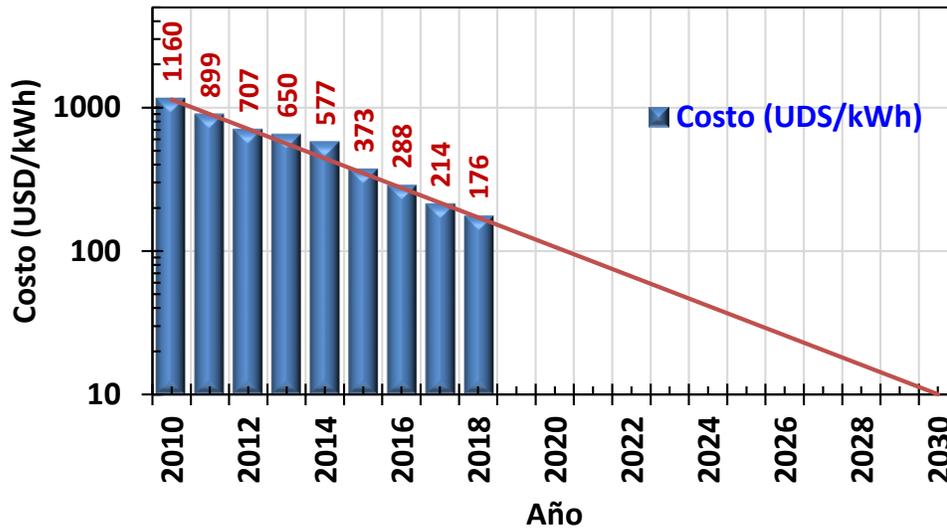


Gráfico 2. Evolución de los costos las baterías en el mundo. (3) Como se ve, la caída de precios sigue una clara tendencia exponencial.

Así, la caída de los costos de los paneles FV, las baterías, junto a las mejoras en la eficacia de las lámparas LED y su importante reducción en precios, constituyen una constelación técnico-económica muy conveniente para revisar los modos más sostenibles y económicos de iluminar nuestras rutas y mejorar las condiciones de seguridad.

El presente estudio tiene, entre sus objetivos, realizar un análisis técnico-económico para evaluar la implementación de Luminarias Solares Autónomas (LSA, imagen 1) en diferentes puntos de las rutas donde actualmente no existe la iluminación necesaria para velar por la seguridad de los vehículos y las personas que transitan. Además, es oportuno evaluar en nuevas carreteras cuales son los modos de iluminación más convenientes, según localización y acceso a las redes eléctricas.

En este informe procuramos proporcionar pautas para la implementación de iluminación en carreteras, poniendo particular atención en aspectos de seguridad, diseño de iluminación, tecnologías, costo de instalación y mantenimiento de la infraestructura correspondiente. Esperamos que estas pautas puedan servir a las empresas constructoras y agencias gubernamentales, municipios, y al público en general para elegir las mejores opciones disponibles en el mercado.

La iluminación solar ofrece diversas ventajas, aprovechables sobre todo en puntos donde las distancias a la red de distribución o redes de media tensión son grandes (de algunos centenares de metros a kilómetros), lo cual es el leitmotiv principal de este estudio. En estos puntos, los altos costos de equipamiento y mano de obra para ofrecer el servicio de iluminación, dejan de constituir una barrera hasta ahora infranqueable.

Además de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la iluminación de las rutas nacionales, las luminarias solares funcionan de forma autónoma, brindando iluminación incluso cuando hay cortes en la red de distribución.



Imagen 1. Sistema de iluminación pública, basado en lámparas LED, paneles FV y baterías: luminarias solares autónomas (LSA).

Otro aspecto importante de la iluminación, que no debe soslayarse, es la posibilidad de que trabajadores e ingenieros puedan realizar tareas de reparación y mantenimiento durante las horas de la noche con una seguridad que, de otro modo, sería imposible lograr. Este aspecto resulta importante ya que cada vez más las normativas indican la necesidad de que las obras de construcción y mantenimiento de las carreteras sean ejecutadas durante la noche para evitar la congestión durante el día. Por otro lado, trabajos específicos como son los que involucran la construcción de pavimentos de hormigón en zonas de altas temperaturas diurnas, se ven beneficiados con el trabajo nocturno: las temperaturas atenuadas nocturnas favorecen el control de la tasa de evaporación para evitar fisuras prematuras en el hormigón recién colocado.

Considerando estas ventajas, este proyecto busca establecer pautas de selección y construcción para ser replicado y escalado a distintas rutas nacionales o provinciales, con el objetivo de aumentar la seguridad vial, reduciendo a su vez su impronta ambiental.

DEFINICIONES

- LSA: Luminarias solares autónomas, iluminación pública, basado en lámparas LED, paneles FV y baterías.
- kW: Una unidad de potencia eléctrica que equivale a 1000 W.
- kWp: La máxima potencia de un panel fotovoltaico (DC).
- kWh: Una unidad de energía igual a 3600 kilojoules, que equivale a una hora de uso de una carga de 1 kW.
- GEI: Gases de Efecto invernadero, causantes del efecto invernadero y del calentamiento global.
- Tasa de descuento: La tasa con la cual se determina el valor presente de un flujo de caja a futuro.
- CAPEX: Del inglés "*Capital expenditure*", son las inversiones en bienes de capital que añaden valor a un activo existente con una vida útil que se extiende más allá del año imponible.
- OPEX: Del inglés "*Operational expenditures*", es un costo permanente para el funcionamiento de un producto, negocio o sistema. Puede traducirse como gasto de funcionamiento, gastos operativos, o gastos operacionales.
- CVU: Costo de vida útil, cuantifica el valor actual de todos los gastos en la vida útil del sistema mediante una tasa de descuento "*i*".
- El Flujo Luminoso (F) que emite una fuente luminosa, es una medida de la potencia luminosa percibida. Su unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades es el lumen (lm).
- La Iluminancia (I o E) que incide sobre una superficie por unidad de área, en el Sistema Internacional (SI) se mide en lux: $1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$. La Iluminancia es la sensación de luminosidad. Su equivalencia es de un lumen/m².
- La eficacia luminosa de una lámpara se mide en Lm/W, es una medida de cuan eficiente es una dada luminaria.

1 - iluminación, seguridad vial y desarrollo

Desde el punto de vista social, la iluminación de las rutas impacta principalmente sobre dos áreas: I) la seguridad vial, II) desarrollo social e inclusión

1.1 Impacto de la iluminación en la seguridad vial a nivel internacional y en Argentina

En el rango de edad de 15 a 49 años, los accidentes de tránsito constituyen la cuarta causa de muerte en el mundo (4), como lo muestra el gráfico 3. Asimismo, para el rango de edades entre personas de 15 a 29 años, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) (5) los accidentes de tránsito son la principal causa de muertes en el mundo.

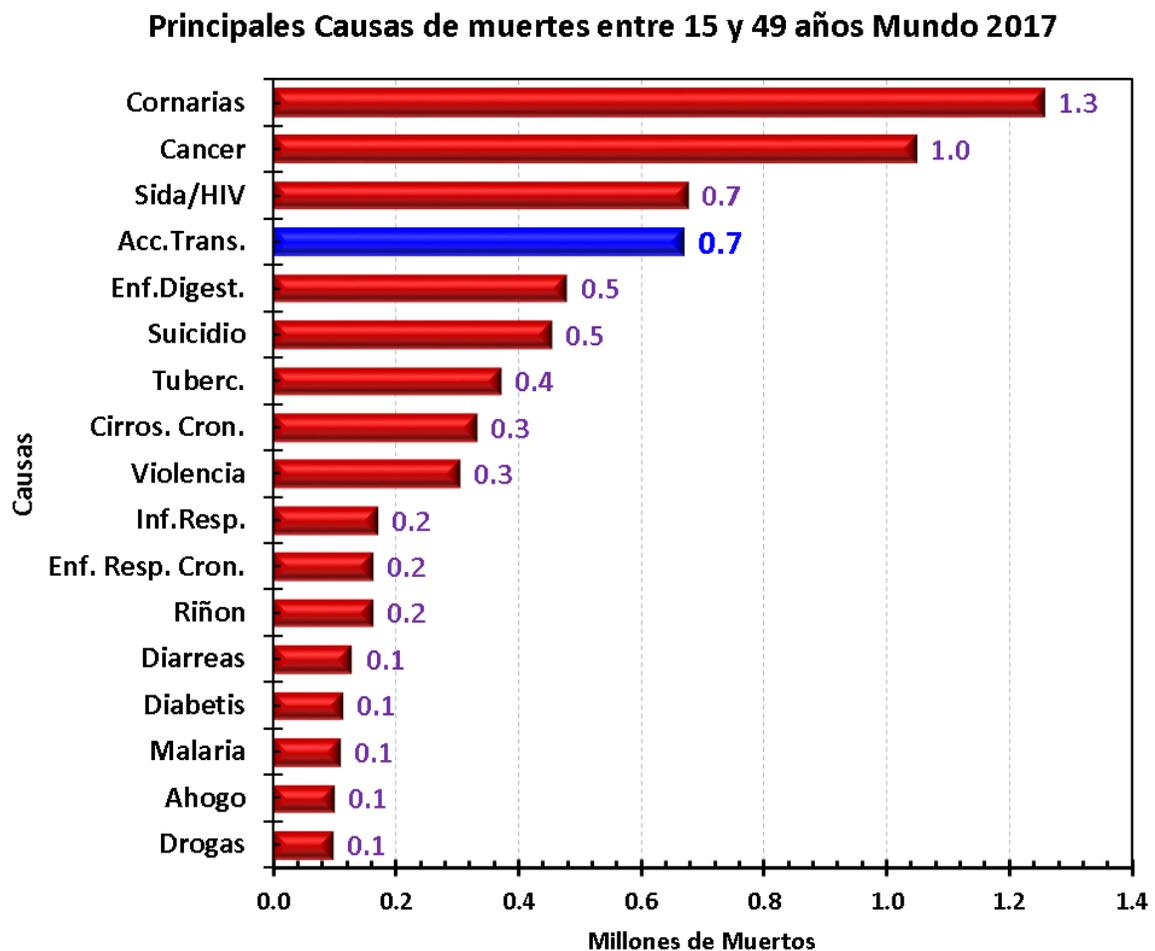


Gráfico 3. Principales causas de muerte en el mundo en el rango de edades de 15 a 49 años. (4)

Así, vemos que los accidentes de tránsito son un factor de extrema gravedad en la sociedad, y en particular en la población joven. La OMS (6) asimismo sostiene:

- Alrededor de 1,35 millones de personas mueren cada año como consecuencia de accidentes de tránsito.
- La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible ha fijado una meta ambiciosa con respecto a la seguridad vial. Consiste en reducir la tasa registrada en 2020 a la mitad, tanto en el número de defunciones como lesiones por accidentes de tránsito en todo el mundo.
- Los accidentes de tránsito cuestan a la mayoría de los países entre el 1% y el 3% de su PIB.
- Más de la mitad de las defunciones por accidentes de tránsito afectan a “usuarios vulnerables de la vía pública”, es decir, peatones, ciclistas y motociclistas.
- A pesar de que los países de ingresos bajos y medianos tienen aproximadamente el 60% de los vehículos del mundo, se producen en ellos más del 93% de las defunciones relacionadas con accidentes de tránsito.
- Los accidentes de tránsito son la principal causa de defunción en los niños y jóvenes de 5 a 29 años.

Cada año se pierden aproximadamente 1,35 millones de vidas como consecuencia de los accidentes de tránsito. Entre 20 millones y 50 millones de personas sufren traumatismos no mortales y muchos de esos traumatismos, conducen a una discapacidad.

En el conjunto de países con nivel de desarrollo alto e intermedio, Argentina es uno de los países con mayores accidentes de tránsito, (7) como lo muestra el gráfico 4.

Accidentes Fatales cada 100 mil Hab.

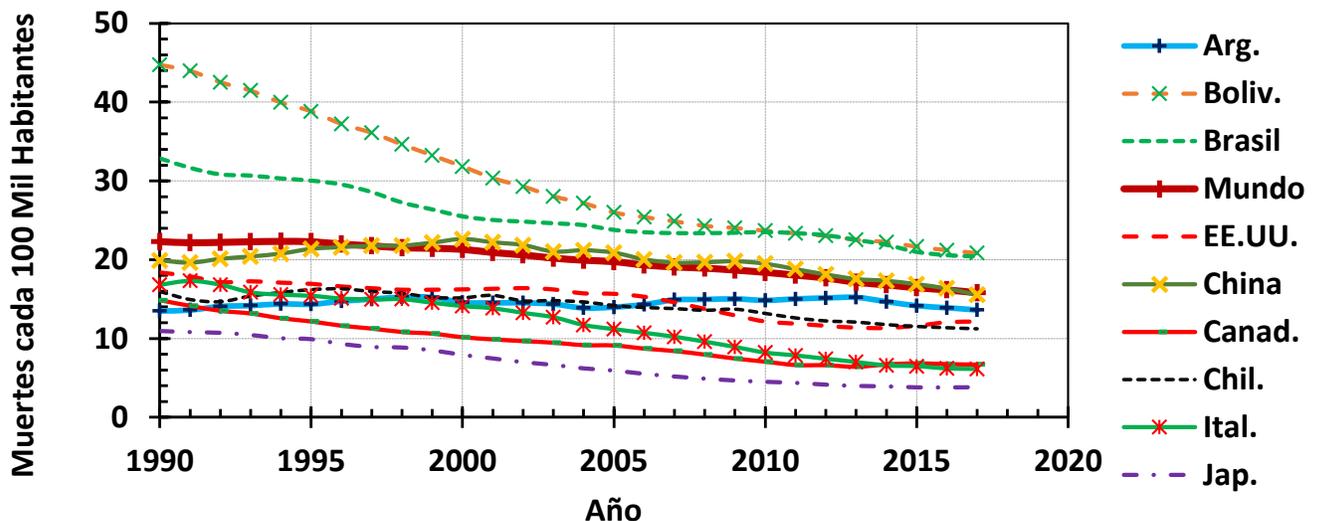


Gráfico 4. Evolución de las muertes por accidente de tránsito, cada 100 mil habitantes en varios países y en el mundo en general. (7)

Sin embargo, lo más grave para la Argentina no es la alta tasa de mortalidad en accidentes de tráfico sino (y a diferencia de otros países), su permanencia en el tiempo. La Argentina hace 30 años que oscila en alrededor de los 13 muertos por cada 100,000 habitantes. Esto indica que, en valores absolutos, las muertes por accidentes de tránsito, lejos de reducirse, ascienden en Argentina.

La Tabla 1 presenta las presumibles tasas de reducción de la siniestralidad vial adjudicadas a las mejoras en la iluminación. Es posible apreciar cómo la mayor incidencia de la iluminación es sobre la mortalidad (reducción del 64%) lo que indica la efectividad de la iluminación en mejorar a la seguridad vial.

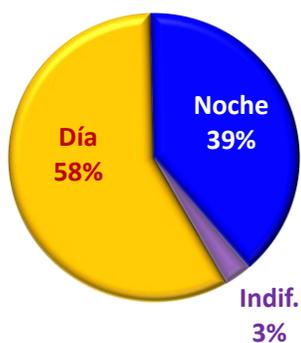
Severidad		Reducción accidentes
Tipo de accidente afectado en		Intervalo de confianza del 95%
Accidentes fatales	Accidentes en la oscuridad	-64
Accidentes con lesiones	Accidentes en la oscuridad	-28
Accidentes que solo causan daños a la propiedad	Accidentes en la oscuridad	-17

Tabla 1. Reducción de accidentes en rutas y autopistas por mejoras en iluminación. (8), (9)

A nivel internacional, varios estudios muestran que la iluminación es una de las formas más efectivas de reducir los accidentes en las rutas. (10), (8), (9). En líneas generales se considera que la iluminación reduce la probabilidad de accidentes nocturnos en un 30% al 65%. (10)

A nivel local, en el gráfico 5 se muestra la distribución de accidentes durante el día y la noche en las rutas nacionales de Argentina, como así también la distribución de accidentes nocturnos, según haya o no iluminación en la ruta. Los datos en Argentina, en consonancia con los datos a nivel internacional, muestran la clara ventaja que tiene la iluminación de carreteras para reducir los accidentes con víctimas durante la noche. (11)

Accidentes con Víctimas en RA



Accidentes Nocturnos con víctimas



Gráfico 5. A la izquierda, distribución de los accidentes que ocurren en Argentina de día y de noche. A la derecha, se ve cómo se distribuyen los accidentes ocurridos en la noche según sea el nivel de iluminación. Origen de los datos: DNV Dirección Nacional de Vialidad.

De lo expuesto en el gráfico 5, complementado con la distribución del tráfico de las rutas nacionales según sea de día o de noche, se arriba a la conclusión de que la tasa de siniestralidad vial nocturna duplica a la diurna en Argentina. La Tabla 2 presenta esta conclusión que reafirma la eficacia de la iluminación en la mejora de la seguridad vial.

Siniestralidad vial en rutas nacionales de Argentina, año 2019		
Distribución diurna/nocturna del tráfico y los accidentes con víctimas		
	día	noche
distribución de accidentes	60%	40%
distribución de tráfico	75%	25%
tasa de siniestralidad nocturna:	2 veces la tasa diurna	

Tabla 2. Tasa de siniestralidad vial en accidentes con víctimas nocturna en relación a la diurna. Fuente: Dirección Nacional de Vialidad.

Abundante bibliografía internacional de relevancia avala la importancia de la iluminación en la reducción de accidentes. (8) Esta última referencia, presenta una relación similar entre el riesgo de sufrir un accidente de noche respecto de sufrirlo de día, pero, cuando hablamos de severidad, nos podemos encontrar con que la relación asciende pudiendo llegar a 3.

1.2 Impacto económico esperable de la iluminación en la seguridad vial de las rutas en Argentina

A nivel internacional, R. Elvik y T. Vaa, en “The Handbook of Road Safety Measures “ (8 pág. 274) (8) señalan que, de la iluminación de las rutas, puede esperarse una reducción del 60% en accidentes fatales. Al discriminar las áreas, habla de 87% en ámbito rural y 43% en urbano.

A nivel nacional, la DNV (11) indica que el 29% de los accidentes con víctima ocurren en áreas urbanas y un 71% en zona rural, para la Argentina el porcentaje de reducción general de la siniestralidad de accidentes con víctimas por la iluminación podría rondar un 75%. No obstante, bajo una mirada más conservadora, para las siguientes estimaciones consideraremos un porcentaje general de disminución de accidentes con víctimas del 60%.

Dos de los elementos claves a la hora de iluminar sectores de las rutas, lo constituyen: i) las intersecciones y ii) las zonas urbanas y periurbanas.

En cuanto a intersecciones, en Argentina la totalidad de los cruces de rutas nacionales y provinciales con caminos rurales secundarios no están iluminadas (a menos que formen parte de alguna travesía urbana alcanzada por la iluminación). Hasta aquí, nada que no se presente en otras partes del mundo. El problema se agudiza cuando cruces entre rutas provinciales o rutas provinciales con nacionales también carecen de iluminación. La DNV indica que en la red nacional Argentina, el 18,5% de los accidentes con víctimas ocurren en intersecciones.

Respecto de las travesías urbanas, no son pocos los sectores urbanos y también periurbanos¹ que en rutas nacionales y, en mayor medida en provinciales, carecen de una iluminación continua².

A continuación, y en orden de estimar un esperable impacto de la iluminación de cruces y travesías urbanas faltantes sobre la siniestralidad vial, se expone la Tabla 3 de la cual se deduce que, en Argentina, de iluminar las travesías urbanas faltantes y los cruces de las rutas, podríamos esperar una reducción del orden de 7% en los accidentes con víctimas

Estimación del impacto de la iluminación sobre la tasa de accidentes con víctimas			
En cruces	% de accidentes en intersecciones	18,5%	
	% de accidentes en intersecciones no iluminadas	4,9%	(40% de accidentes de noche; 2/3 de los cruces sin iluminar)
	impacto esperado de la iluminación sobre la siniestralidad	60%	
	Reducción de la siniestralidad total por iluminación en cruces	3,0%	
En zonas urbanas y periurbanas	% de accidentes en zonas urbanas	29,0%	
	% de accidentes en intersecciones no iluminadas	5,8%	(40% de accidentes de noche; 50% de las travesías sin iluminar)
	impacto esperado de la iluminación sobre la siniestralidad	60%	
	Reducción de la siniestralidad total por iluminación en zonas urbanas	3,5%	
	Impacto total estimado	7%	

Tabla 3. Estimación de la reducción en la tasa de siniestralidad por la iluminación de cruces y travesías urbanas.

Los últimos datos sobre víctimas fatales en Argentina indican 5611 muertos por accidentes de tráfico en el año 2017 y 5493 en 2018, (12). Podemos estimar que alrededor de un 75% de estos accidentes ocurren entre rutas; en nacionales (50%) y en provinciales (25%) (13). Por lo tanto, son alrededor de 4000 personas las que mueren cada año en las rutas argentinas.

El ahorro por iluminar todas las travesías urbanas y periurbanas, más los cruces, se estimó en un 7%, equivalente a 280 vidas al año.

La Agencia Nacional de Seguridad Vial, estimó para el año 2017 que el Valor Estadístico de la Vida (VEV), era de \$ 30,516,000 (aproximadamente 1,2 millones USD) (14). Este valor social de la vida humana en Argentina llevado a valores actuales y traducido a dólares americanos ronda 1 USD Millón.

Por lo tanto, en términos de vidas humanas, la intervención en cruces y travesías supondría un ahorro anual de USD 265 millones. Considerando que, por cada muerto en Argentina, hay de 2 a 3 heridos graves y que cada herido grave tiene un valor en términos sociales del orden del 25% de

¹ Sector periurbano: tramo que, si bien no es netamente urbano, tiene una densidad de cruces mayor a uno por km, con distintos usos de la tierra diferentes al rural

² Es posible que algún cruce esté iluminado, pero no la totalidad de la travesía.

VEV, el ahorro total por la iluminación de cruces y travesías podemos estimarlo en un orden de los USD 400 millones al año.

1.3 La iluminación de las rutas y su impacto sobre el desarrollo sustentable

La iluminación no solo mejora las condiciones de seguridad vial, sino que es un elemento fundamental de desarrollo social e inclusión.

En diversas rutas la viabilidad de disponer o no de paradas de ómnibus y colectivos está condicionada a la existencia de una iluminación adecuada. Así, es frecuente que algunos barrios cercanos a las rutas no tengan un adecuado acceso al transporte público debido a la falta de iluminación. Una adecuada iluminación jerarquiza el espacio público, le agrega valor y promueve su desarrollo.

En ese sentido, la iluminación solar ofrece diversas ventajas aprovechables sobre todo en puntos donde las distancias a la red de distribución o de alumbrado público hacen inviable su iluminación. También es importante destacar, que las LSA funcionan de forma autónoma, brindando iluminación incluso cuando hay cortes en la red de distribución.

Además, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que, en un escenario de iluminación convencional, las luminarias serían conectadas a la red eléctrica, utilizando energía eléctrica generada mayormente por gas natural.

Por último, resta indicar que la iluminación de las rutas en los cruces y en las travesías urbanas y periurbanas, tiene un claro impacto en la seguridad ciudadana de las personas previniendo delitos y dando un marco de seguridad a todas las actividades que se desarrollan en las márgenes de las rutas. En este sentido, la iluminación de cruces y travesías es condición básica para la inducción de nuevas actividades y la valorización de la tierra.

Este impacto en el desarrollo sustentable con equidad se suma a los beneficios sociales provenientes de la mejora en seguridad vial, conformando la totalidad de los beneficios que se pueden asociar a la iluminación de las rutas.

2 - Condiciones actuales de iluminación en las rutas nacionales

En este capítulo daremos en un principio algunas pautas generales de iluminación para luego comentar el estado del arte de la iluminación de rutas en Argentina.

2.1 Pautas generales de iluminación

Algunos requisitos de iluminación sugeridos internacionalmente se describen en la literatura. (15), (16). En Argentina la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) establece varias especificaciones técnicas para el sistema de alumbrado en rutas nacionales. (17), (18), que involucran el nivel de Iluminación, la ubicación de las columnas, la provisión de energía, entre otras.

Como nivel de iluminación en rutas se sugiere un nivel medio de Iluminancia: $E_{\text{medio}} \geq 27$ lux, aunque típicamente se usa: $E_{\text{medio}} \approx 35$ Lux. (17).

Específicamente en tramos continuos de carreteras, la normativa argentina sigue el criterio de luminancia. La Tabla 4 presenta los principales parámetros de luminancia de las vialidades, según tipo de ruta, de la normativa nacional argentina (18)

Parámetros luminotécnicos NORMA IRAM AADL J 2022-2					
Clase	Valores mínimos admitidos			TI (%)	G
	Luminancias promedio	Uniformidades			
	Nivel inicial Lmed (cd/m ²)	Uo Lmin/Lmed	UI Lcmin		
A	2,7	0,4	0,7	≤ 10	≥ 6
B1	2,0	0,4	0,6	≤ 20	≥ 5
B2	1,3	0,4	0,6	≤ 15	≥ 6
C	2,7	0,4	0,6	≤ 15	≥ 6
B1	Ruta Clase B con entornos iluminados				
B2	Ruta Clase B con entornos no iluminados				
UI	uniformidad longitudinal por carril				
Uo	uniformidad general				
TI	Incremento del umbral de percepción				
G	Deslumbramiento molesto				

Tabla 4. Parámetros luminotécnicos NORMA IRAM AADL J 2022-2.

La ruta tipo A corresponde típicamente a autopistas con velocidad mayor a 100 km/h. El tipo B se corresponde con rutas convencionales según cuenten con entornos iluminados o no.

Si en las carreteras se realizan trabajos de mantenimiento la iluminación debe ser mayor, en EE.UU. algunas recomendaciones son: (15), (16).

- **Categoría I 54 Lux** Recomendado para la iluminación general en la zona de trabajo principalmente desde el punto de vista de seguridad en el área donde se espera o tiene lugar el movimiento de los trabajadores. Esta categoría también es apropiada para tareas que requieren baja precisión, que involucran equipos de movimiento lentos, y trabajar con objetos de gran tamaño para ser vistos con claridad.
- **Categoría II 108 Lux** Recomendado para iluminación en y alrededor de equipos de construcción y tareas asociadas con el equipo, como la repavimentación.
- **Categoría III 216 Lux** Recomendado para tareas que presentan mayor dificultad visual y requieren mayor atención del observador, como relleno de grietas, conexiones críticas y mantenimiento de dispositivos eléctricos o maquinaria en movimiento.

En cuanto a la ubicación de columnas, la normativa argentina indica que las distancias mínimas de instalación de las columnas son de cuatro metros del borde de calzada (0,80 en caso de existir cordones) y detrás de la defensa flexible (a un metro). Las columnas deben ser tubulares de acero, calculadas para soportar los vientos de la zona según las normas IRAM correspondientes. La altura recomendada para calzada principal es doce metros.

2.2 Condiciones actuales de la iluminación de las rutas argentinas

A la hora de analizar el estado de situación de la iluminación vial en Argentina, es necesario hacer una primera discriminación entre i) autopista de acceso a grandes ciudades ii) travesías urbanas de rutas rurales y cruces aislados

Situación de la iluminación en autopistas de acceso a grandes ciudades

En líneas generales, el mantenimiento de la iluminación de los grandes accesos a aglomerados urbanos (autopistas de la red de acceso a la Ciudad de Buenos Aires, RAC red de accesos a la ciudad de Córdoba), supone una de las tareas principales de mantenimiento de rutina y normalmente está correctamente ejecutada, especialmente en aquellos casos en que la autopista está concesionada habiendo un doble control: la presencia permanente del concesionario y el control del organismo concedente.



Imagen 2. Sistema de iluminación inteligente en AUSA Autopistas Urbanas Buenos Aires.

Además, los sistemas de iluminación de las grandes autopistas están tendiendo a mejorar su eficiencia y su gestión incorporando eficiencia energética e inteligencia con el control remoto del estado de las luminarias. Es el caso de AUSA (imagen 2) que a partir del año 2014 ha migrado sus luminarias a tecnología Led y ha incorporado inteligencia en la gestión del sistema de iluminación a partir de un control remoto e inalámbrico del estado de las luminarias, tecnología de dimerización y una medición precisa de la energía consumida por punto de luz.

Situación de la iluminación en travesías urbanas de rutas y en cruces aislados

El crecimiento alcanzado en las últimas décadas por localidades rurales y núcleos urbanos de la periferia de ciudades, entre otros tipos de asentamientos poblacionales, ha sido la causa de la demanda de sistemas de alumbrado público por parte de sus habitantes en las rutas que suelen constituir el eje de estos desarrollos. El motivo es recurrente: la falta de seguridad vial y también personal.

Las demandas usualmente son cursadas al Municipio que se enfrenta con i) tiempos necesarios para ejecutar un proyecto y tiempos de administrativos de aprobación bajo especificaciones técnicas de la agencia de vialidad que intervenga, ii) la presión de los vecinos en una zona gris que es la zona de camino (normalmente de 100 m centrada en el eje de la ruta), que si bien se encuentra bajo otra jurisdicción (nacional o provincial), incorpora cruces y movimientos vehiculares típicamente locales, iii) problemas de financiamiento que usualmente corre por cuenta de la agencia de vialidad nacional o provincial.

Desde el punto de vista legal, lo natural es operar bajo acuerdos realizados en Convenios firmados entre los municipios y las agencias de vialidad donde particularmente se fija el precio de los trabajos y se habilita al intendente a firmar un contrato de obra con una determinada empresa de servicios.

Mejor aún es trabajar coordinadamente y de modo rutinario bajo la firma de convenios de cooperación de modo de encarar con velocidad la solución de las necesidades asociadas a la iluminación.

Sin embargo, esta no es la regla y es frecuente encontrar zonas de rutas que ya cuentan con una caracterización de urbanas o periurbanas, sin iluminar o con mantenimiento precario.

En cuanto a los cruces aislados, la situación puede resultar más grave ya que la presión del vecino frentista no está y la solución dependerá de las gestiones que se puedan hacer frente a la agencia vial, y de los tiempos administrativos y la posibilidad de financiamiento rápido de la agencia (no todas las agencias actúan del mismo modo). Lo cierto es que son muchos los cruces que carecen de iluminación y deberían tenerla. Lo peor que se puede esperar es que, como en tantos otros servicios, sea necesario la ocurrencia de un accidente para tomar cartas en el asunto.

En este aspecto, lo esperable es que la agencia nacional o provincial cuente con una política y planificación preventiva de modo de anticiparse a las necesidades.

Un buen ejemplo de esto es lo que ha realizado la Dirección de Vialidad de la Provincia de La Pampa que desde el 2017 ha encarado la iluminación de 11 cruces entre rutas provinciales que estaban sin iluminación con una inversión que ronda los USD 1,7 millones. Paradójicamente, al momento de redactar este informe, ya están concluidas estas inversiones en la Provincia de La Pampa, pero en la misma Provincia faltan aún iluminar cruces entre rutas provinciales y nacionales por tratarse precisamente de dos jurisdicciones distintas y las gestiones que demandan estas obras.



Imagen 3. Iluminación de 11 cruces llevada a cabo por la Provincia de La Pampa.

La conclusión es que en la vialidad argentina son aún muchos los cruces principales que restan por iluminar, así como travesías urbanas y periurbanas.

Las nuevas tecnologías LED asociadas a la generación solar supone una salida técnica y económicamente viable para actuar en forma rápida y, principalmente, para ir escalando el proyecto fácilmente a medida que los requerimientos se sumen, generando multiplicidad de externalidades positivas, entre ellas la principal que es la seguridad vial de los usuarios de la ruta (vecinos y pasantes) así como la personal de ciclistas y peatones.

EN PROCESO DE DISEÑO

EN PROCESO DE DISEÑO

3 - Luminarias solares autónomas (lsa)

Las luminarias solares son un sistema de alumbrado que funciona a base de energía solar fotovoltaica, la cual es almacenada en baterías para proveer energía al sistema de alumbrado durante la noche y días nublados con baja generación.

Una luminaria solar contiene cuatro elementos principales:

1. **El panel fotovoltaico:** A través del efecto fotoeléctrico, transforma la energía lumínica del sol en energía eléctrica.
2. **El sistema de almacenamiento:** Generalmente compuesto por baterías de litio o plomo, almacena la energía generada durante las horas de luz solar.
3. **El controlador de carga:** Regula la intensidad de carga de las baterías con el fin de alargar su vida útil.
4. **El sistema de iluminación:** Transforma la energía eléctrica producida por las baterías en energía lumínica, generalmente a través de tecnología LED.

Estos sistemas son muy adaptables y pueden utilizarse en diversas aplicaciones, desde la iluminación de parques o jardines, hasta la iluminación de una vía pública, ruta y carreteras, etc.

Ventajas y desventajas de las LSA

Las LSA poseen una serie de ventajas respecto de los sistemas de iluminación convencional, algunos de los cuales detallamos a continuación:

1. **Cero costos de energía:** Al ser independientes de la red eléctrica, desaparece el costo de operación dado por consumo de energía.
2. **No necesitan transformadores:** Al ser independientes de la red eléctrica, no requieren de transformadores, los cuales representan un alto costo de capital, y requieren de mantenimiento para su correcto funcionamiento.
3. **Modo Sustentable de Iluminación:** Dado que los paneles son fáciles de identificar, estos sistemas transmiten una percepción de sustentabilidad y compromiso verde.
4. **Flexibilidad en su instalación:** Su instalación es muy sencilla, ya que no requieren de grandes obras civiles para el cableado, cruces bajo calle, transformadores ni conexiones a red.
5. **Reducción en la saturación de sistemas:** El constante crecimiento de la demanda energética mundial genera la necesidad de realizar inversiones multimillonarias en la ampliación de la generación, transmisión y distribución eléctrica. La implementación de sistemas de iluminación solar contribuye en la reducción del crecimiento de esta demanda.
6. **Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero:** La generación de energía eléctrica en Argentina está principalmente dada por combustibles fósiles. La implementación de sistemas de iluminación solar reduciría la huella de carbono, debido a la generación de energía limpia.

Por otra parte, estos sistemas también poseen una serie de desventajas con respecto a los sistemas de alumbrado convencional:

1. **Posibilidad de Hurto:** Debido a que no están cableados, estos equipos pueden ser más fácilmente robados. El riesgo de robo es relativamente mayor porque tiene un valor monetario más alto en comparación con el alumbrado convencional.
2. **Mantenimiento:** El polvo y la suciedad pueden acumularse en los paneles fotovoltaicos, reduciendo su producción de energía. Debido a esto, se recomienda que los equipos sean limpiados mínimamente una vez por semestre, particularmente en zonas con condiciones meteorológicas extremas.
3. **Intermitencia:** Una buena luminaria se diseña para tener 3 o 4 días de autonomía, pero es posible que, ante una semana continua de baja luminosidad, los equipos no funcionen adecuadamente. En estos casos existe la posibilidad de incrementar la capacidad de las baterías para prolongar los periodos de cobertura sin sol, pero incurriendo en mayores costos.

Existen diversos tipos de luminarias solares. Dado el enfoque de este estudio, se analizan solo los sistemas que cumplan con las condiciones necesarias para ser utilizadas en el alumbrado vial, reduciéndose principalmente a dos sistemas:

1. Sistemas All-In-One o integradas
2. Sistemas Split

Sistemas All-in-One

Estos sistemas se caracterizan por tener incorporados dentro de la luminaria el panel solar, batería, controlador y lámpara LED (Imagen 4). Esta configuración permite facilitar la instalación de estos equipos, reduciendo los tiempos y costos asociados a su instalación. Sus desventajas principales son las siguientes:

- El tamaño del panel fotovoltaico se encuentra limitado por la dimensión de la luminaria, reduciendo la autonomía y confiabilidad de estos sistemas, principalmente en épocas de baja radiación solar.
- Dado que el panel fotovoltaico se encuentra integrado a la luminaria, estos equipos no poseen la capacidad de orientar e inclinar el panel hacia la dirección óptima o de máxima generación, perdiendo así flexibilidad y eficiencia.



Imagen 4. Sistema de iluminación solar "All-in-One".

Sistemas Split

A diferencia que los sistemas integrados, los sistemas Split se caracterizan por tener separadas las baterías/controlador, los paneles fotovoltaicos, y la luminaria (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 5). Son equipos que poseen flexibilidad en la orientación e inclinación de los paneles y mayor autonomía, a costo de un incremento en los tiempos requeridos para su instalación.



Imagen 5. Sistema de iluminación solar "Split".

Estos equipos son muy versátiles, ya que es posible modificar la orientación de los paneles y la relación panel solar/batería/luminaria, según las condiciones óptimas de cada región geográfica.

EN PROCESO DE DISEÑO

4 - Diseño óptimo por zona geográfica

Hay dos variables que inciden directamente sobre la radiación solar que recibe un panel fotovoltaico: la orientación y la inclinación.

La inclinación se define como el ángulo que forma la superficie de los paneles con el plano horizontal. Su valor es 0° para paneles colocados horizontalmente y 90° para verticales

La orientación o acimut es el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del panel y el norte (grafico 6).

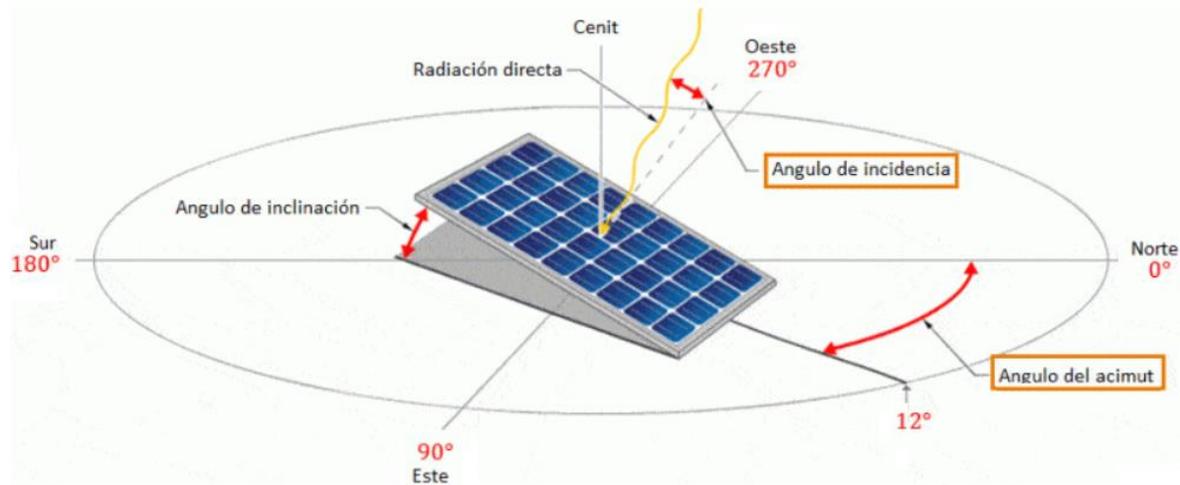


Gráfico 6. Angulo de inclinación, acimut, e incidencia (19).

En función de la ubicación geográfica, y las características de orientación e inclinación del panel fotovoltaico, se puede estimar la producción energética anual mediante diversos programas de simulación, como por ejemplo el software PVSyst. (20)

Para lograr comprender la inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos para un sistema autónomo, debe entenderse el concepto de **ángulo de declinación solar**.

El ángulo de declinación es el formado por los rayos de Sol con el plano ecuatorial de la Tierra. El ángulo es positivo cuando el Sol está por encima del ecuador y negativo cuando el Sol está por debajo del ecuador (grafico 7). El valor de la declinación solar varía a lo largo del año, desde $\delta = 23,45^\circ$ (21 de junio), a $\delta = -23,45^\circ$ (21 de diciembre), pasando por cero grados durante los equinoccios de primavera y otoño. (21)

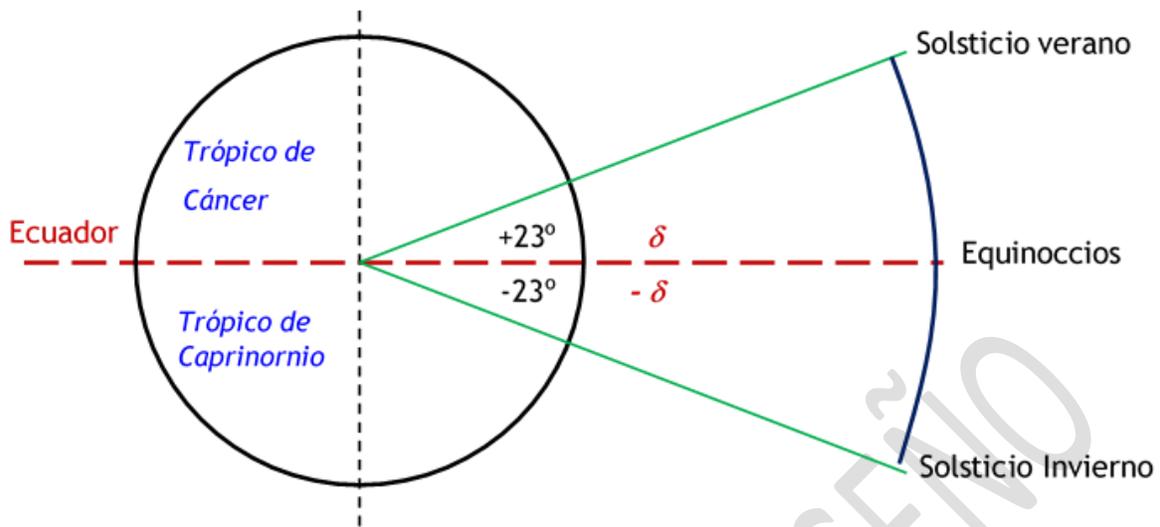


Gráfico 7.: Declinación solar en el ecuador.

Para una persona situada en una latitud ϕ , la declinación se observa como una variación en la altura solar, con su máximo ocurriendo en el solsticio de verano y su mínimo en el solsticio de invierno (grafico 8).

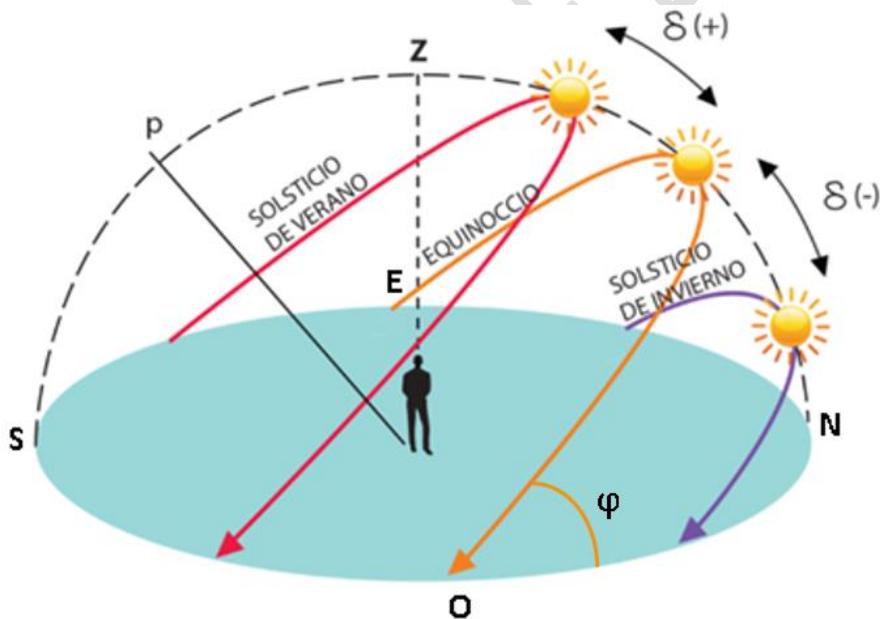


Gráfico 8. Modelo conceptual de la declinación solar para una persona ubicada en una latitud ϕ .

Dado que los sistemas de iluminación solar son completamente autónomos, se debe maximizar la producción de energía para los meses de menor radiación del año, permitiendo reducir los sistemas de acumulación eléctrica, volviendo a éstos más económicos, livianos y confiables.

Para poder maximizar la generación para los meses de menor radiación, los rayos solares deberán impactar de forma perpendicular a los módulos fotovoltaicos en el periodo cercano al solsticio de invierno. **Esto implica que inclinación óptima para estos sistemas debe ser de aproximadamente la latitud sumada a la declinación máxima ($\phi + 23.45^\circ$), con una orientación Norte.**

Para mostrar con un ejemplo, a continuación, se observan los resultados de simular mediante el programa PVsyst (20) tres sistemas fotovoltaicos ubicados en Morón, Provincia de Buenos Aires, orientados hacia el norte, con distintas inclinaciones.

Generación vs Inclinación

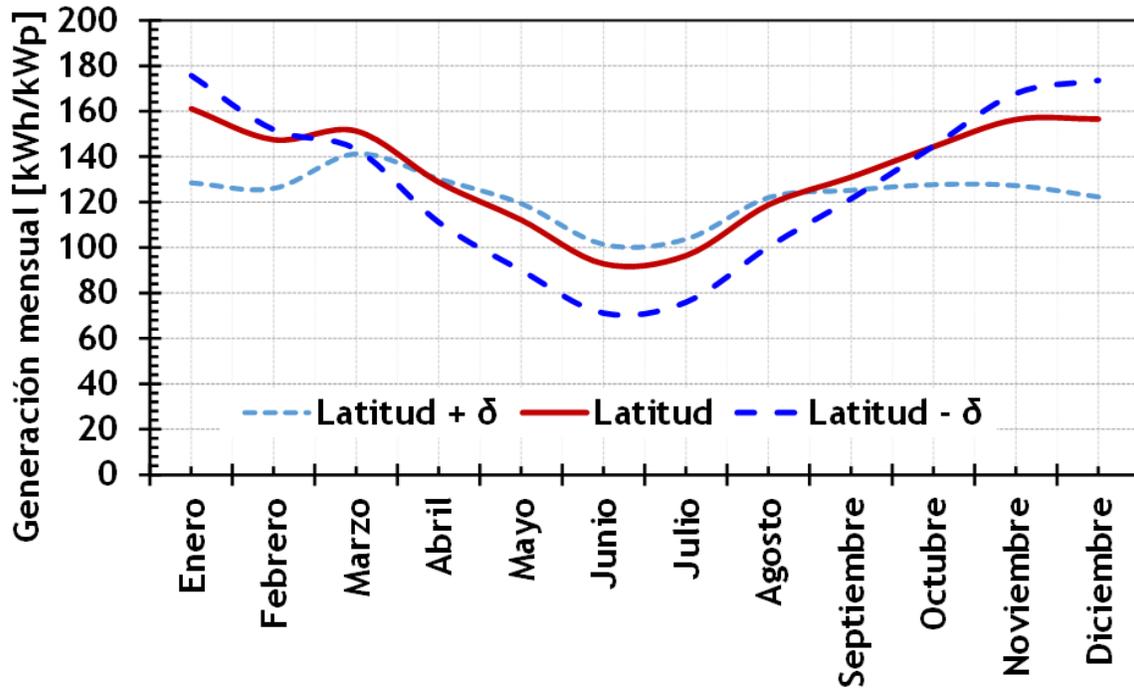


Gráfico 9. Productividad mensual específica para distintas inclinaciones³.

En el gráfico 9 se puede corroborar lo enunciado anteriormente, dado que la instalación que posee un mínimo de generación más elevado (es decir, una productividad más plana), es con una inclinación igual a la latitud $\varphi + 23.5^\circ$. Tener en cuenta que esto **no quiere decir** que esta configuración maximiza la generación anual, sino más bien que mejora las condiciones para los meses de menor radiación.

³ La productividad específica establece cual sería producción de energía por cada kWp instalado

EN PROCESO DE DISEÑO

5 - Mercado – equipos solares actuales

En este capítulo se pretende realizar un análisis del mercado local y global, a modo de establecer los costos asociados a las tecnologías explicadas anteriormente, así como establecer criterios de selección de los equipos, como podría ser:

1. **Índice A**= Relación Acumulación / Generación Diaria (**Índice A=Tiempo de Carga**): Este índice indica la cantidad de días necesarios para recargar las baterías. Un índice muy bajo indicaría un mal funcionamiento de los equipos ante varios días de radiación intermitente.
2. **Índice B**= Relación Acumulación / Potencia LED (**Índice B=Autonomía**): Este índice indica las horas de autonomía del sistema al 100% de su potencia. Un índice muy bajo indicaría un mal funcionamiento de los equipos ante varios días continuos de baja radiación.
3. **Índice C**= Relación Generación Diaria / Potencia LED: Este índice indica cuantas horas se podrían iluminar con la lámpara al 100% de su potencia, con la energía generada en un día estándar.⁴ Un índice muy bajo indicaría que la energía diaria generada no lograría cubrir la demanda diaria de la lámpara, o que no habría excedentes suficientes para una buena recarga de la batería luego de un periodo de baja radiación.
4. Costo
5. Proveedor (Nacional o Internacional): Debido a la necesidad de incorporar estos equipos dentro de las licitaciones públicas, es importante la ubicación del proveedor de los distintos equipos.
6. Potencia lumínica

Para la selección del equipo a utilizar en el estudio, se propone hacer una ponderación de los criterios explicados anteriormente para cada luminaria, con pesajes en función de la prioridad del criterio. Desde luego, esta operación es subjetiva, y depende de las prioridades y valoración que comitente puede tener en cuenta a la hora de realizar el proyecto. En el Anexo 1 se discute una metodología de selección posible entre las distintas opciones y prioridades del comitente.

A modo de ejemplo, en este ejercicio utilizamos las ponderaciones indicadas aquí y en la Tabla 3:

1. Tiempo de carga: 0.1
2. Autonomía: 0.25
3. Generación Diaria: 0.1
4. Costo: 0.3
5. Proveedor: 0.15
6. Potencia lumínica: 0.1

En la Tabla 3, se muestran los resultados de esta puntuación total. Se puede observar que los equipos con mejor puntuación son las luminarias N°1, comercializadas por un proveedor nacional, con un sistema de mediano costo, y alta autonomía.

⁴ El día estándar contempla una radiación equivalente a 5 horas solares pico (1000 W/m²*día)

	Pais de Origen		Autonomía Batería		Tiempo de carga		Horas de Iluminación		Costo		Potencia Luminica		Puntaje Total
Ponderacion	0.15		0.25		0.1		0.1		0.3		0.1		
Luminaria N°	Origen	Puntaje	Horas	Puntaje	Dias	Puntaje	Horas	Puntaje	U\$S	Puntaje	Lumens	Puntaje	
1	Argentina	5	48.0	4.3	3.0	0.0	16.0	2.4	\$ 1,213	3.1	12000	5.0	3.47
2	Argentina	5	10.6	0.4	1.2	4.0	9.2	0.7	\$ 900	4.3	7200	1.0	2.70
3	Mexico	0	41.4	3.6	1.6	3.1	26.0	5.0	\$ 1,580	1.6	12000	5.0	2.68
4	Mexico	0	55.2	5.0	2.6	0.9	21.3	3.8	\$ 1,300	2.7	9000	2.5	2.78
5	Mexico	0	36.0	3.0	1.4	3.5	26.0	5.0	\$ 1,975	0.0	12000	5.0	2.10
6	Mexico	0	48.0	4.3	2.3	1.6	21.3	3.8	\$ 1,725	1.0	9000	2.5	2.16
7	China	0	40.5	3.5	2.2	1.8	18.8	3.1	\$ 802	4.7	12000	5.0	3.28
8	China	0	40.5	3.5	2.2	1.8	18.8	3.1	\$ 728	5.0	11200	4.3	3.30
9	Argentina	5	8.6	0.1	1.0	4.5	9.0	0.6	\$ 1,002	3.9	6000	0.0	2.47
10	Argentina	5	7.2	0.0	1.1	4.1	6.5	0.0	\$ 1,432	2.2	12000	5.0	2.32
11	Argentina	5	11.2	0.4	1.3	3.8	8.8	0.6	\$ 800	4.7	6400	0.3	2.74
12	Francia	0	15.6	0.9	1.0	4.5	16.3	2.5	\$ 1,950	0.1	12000	5.0	1.45
13	Francia	0	15.6	0.9	0.7	5.0	21.7	3.9	\$ 1,671	1.2	9000	2.5	1.72

Tabla 5. Puntuación de las distintas luminarias solares.

En el Anexo I se encuentra el método de cálculo de las puntuaciones obtenidas en la tabla anterior.

6 - Análisis técnico económico

Para poder realizar un análisis económico comparativo entre el sistema de alumbrado convencional respecto de un sistema de iluminación solar autónomo (LSA), es necesario entender en qué consiste cada uno de los sistemas.

Un sistema de alumbrado convencional generalmente incluye tanto las luminarias como el tendido de líneas de suministro eléctrico desde la red de media tensión hasta el punto de conexión con la línea de alimentación de las luminarias. Esto incluye la conexión dentro de las luminarias, un tablero general de baja tensión y un transformador BT/MT (grafico 10, área dentro del rectángulo amarillo).

En los casos en los que la red de media tensión no se encuentra cercana al punto de iluminación, el sistema debe contemplar una prolongación de ésta hasta el punto de ubicación del transformador de baja tensión, adicionando significativos costos (Rectángulo rojo, del grafico 10).

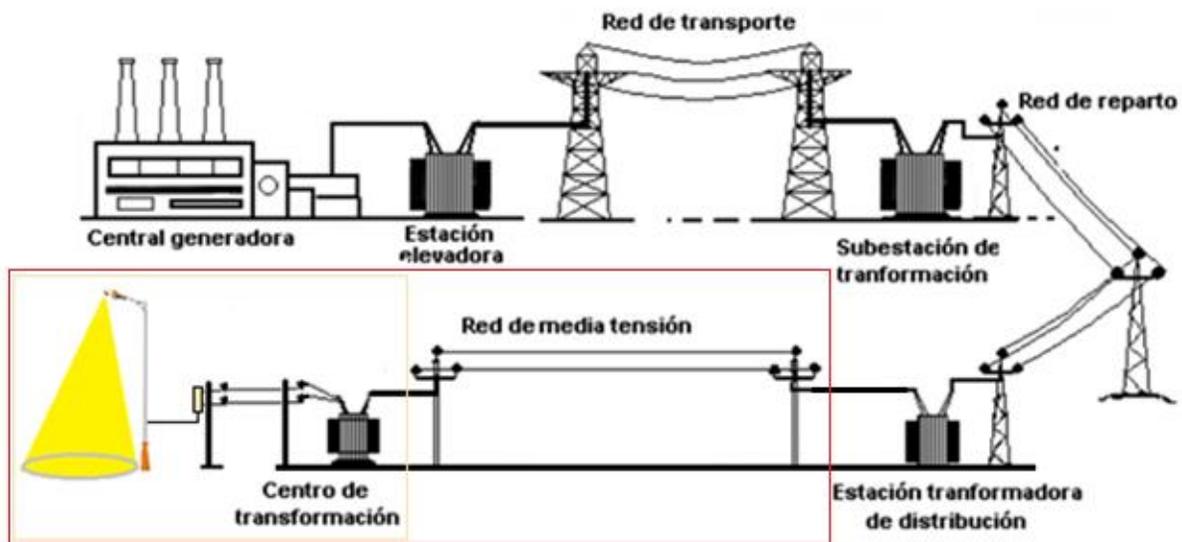


Gráfico 10. Sistema interconectado eléctrico, alimentando a un sistema de iluminación convencional.

Por otro lado, los sistemas de iluminación convencional consumen energía de la red eléctrica, saturando la misma y generando un costo operativo para los municipios, transportistas, distribuidoras y el Estado mismo a través de subsidios a la energía.

Los sistemas de iluminación solar, en cambio, consisten únicamente en la luminaria, conectada a una batería, un controlador y un panel solar, sin generar demanda de energía de la red.

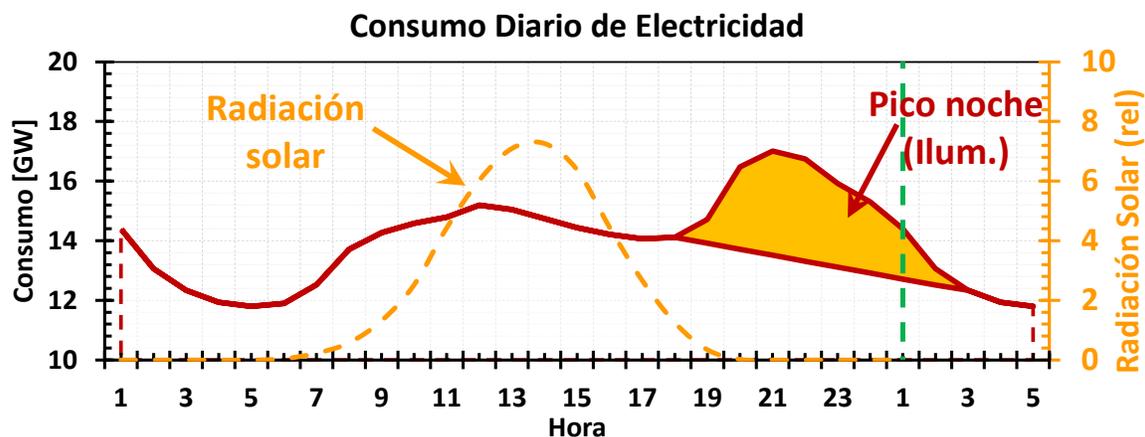


Gráfico 11. Variación de consumo eléctrico, curva roja referida al eje vertical izquierdo. La línea de trazos naranja representa la radiación solar, referida al eje vertical derecho. Entre las 20 y 0 horas se observa un pico típico de consumo, que es cuando el sistema eléctrico es más vulnerable.

En el gráfico 11 se observa la curva de carga o demanda de electricidad en un día típico de invierno. Entre las 20 y 24 horas se observa el pico o máximo de consumo. Lo mismo ocurre en verano, aunque con un pico retardado en tiempo. En estas horas, el sistema eléctrico es más vulnerable a los cortes de servicio. De este modo los sistemas LSA contribuyen a atenuar estos picos de consumo, haciendo más robustos y seguros los sistemas eléctricos.

Para resumir, en la Tabla 6 se encuentra una comparación cualitativa de los costos de los sistemas de iluminación convencionales y solares.

Comparativa de costos entre tecnologías		
Descripción	Luminaria Solar	Luminaria Convencional
Fundaciones	✓	✓
Columnas	✓	✓
Tablero General	✗	✓
Transformador	✗	✓
Línea de Baja Tensión	✗	✓
Tablero de Baja Tensión	✗	✓
Artefacto	✓	✓
Mantenimiento del artefacto	✓	✓
Mantenimiento de redes, transformador y tablero	✗	✓
Zanjado	✗	✓

Tabla 6. Comparativa cualitativa de costos entre sistemas de iluminación solar y convencional.

6.1 Sistema de iluminación convencional – CAPEX

Con el objeto de estimar los costos de un sistema de iluminación convencional, se utilizaron como referencia los precios resultantes de ejecutar la iluminación de 14 cruces entre rutas provinciales en la Provincia de La Pampa (Licitaciones públicas N° 2/17 y 12/19).

Las obras resultantes de la Licitación 12/19 consistieron en iluminar 3 intersecciones de rutas provinciales contiguas a la red de media tensión. En la Tabla 7 se enumeran las intersecciones y precios resultantes por luminaria.

Obra	N° Luminarias	SET [U\$S]	Tablero [U\$S]	Luminaria instalada [U\$S]	Costo Total [U\$S]	Total por luminaria [U\$S]
ACEITERA - GENERAL PICO	21	\$4,253	\$1,186	\$2,603	\$60,092	\$2,862
R.P. N° 9 ACCESO A CALEUFÚ	19	\$4,253	\$1,186	\$2,272	\$48,613	\$2,559
R.P. N° 9 y R.P. N° 2	26	\$3,937	\$973	\$2,535	\$70,827	\$2,724

Tabla 7. Costos en U\$S de obras de iluminación de cruces en La Pampa (2019).

Por otro lado, a través de la Licitación N°2/17 del año 2017, la Provincia de La Pampa ejecutó la iluminación de 11 cruces entre rutas provinciales [Figura 16]. A diferencia de los licitados en 2019, varios de los cruces se encontraban a distancias considerables de la red de media tensión, por lo que los precios se incrementaron sensiblemente en forma proporcional a la distancia a la red.

Cruces de Rutas	Total Luminarias	Distancia a Línea de Media Tensión [km]	Costo Total [U\$S]	Costo por luminaria
Ruta Prov. N° 10 - Ruta Prov. N° 1	28	0.0	\$84,602	\$3,022
Ruta Prov. N° 14 - Ruta Prov. N° 1	28	0.25	\$87,864	\$3,138
Ruta Prov. N° 20 - Ruta Prov. N° 1	23	8.2	\$177,468	\$7,716
Ruta Prov. N° 7 - Ruta Prov. N° 2 (Norte)	23	3.5	\$116,137	\$5,049
Ruta Prov. N° 7 - Ruta Prov. N° 2 (SUR)	23	5.4	\$140,931	\$6,127
Ruta Prov. N° 10 - Ruta Prov. N° 11	23	0.0	\$70,465	\$3,064
Ruta Prov. N° 9 - Ruta Prov. N° 4	23	5.7	\$144,846	\$6,298
Ruta Prov. N° 1 - Ruta Prov. N° 18 (Norte)	23	0.0	\$70,465	\$3,064
Ruta Prov. N° 1 - Acc. Sur Macachín	23	0.0	\$70,465	\$3,064
Ruta Prov. N° 1 - Ruta Prov. N° 4	23	0.0	\$83,515	\$3,631
Ruta Prov. N° 7 - Ruta Prov. N° 10	28	0.0	\$84,602	\$3,022

Tabla 8. Costos en U\$S de obras de iluminación de cruces en La Pampa (2017).

A partir de los cruces que cuentan con la misma cantidad de luminarias es posible obtener un precio por kilómetro de la conexión a la red de media tensión, el cual alcanza los 16.000 U\$S/km. Este valor fue contrastado contra una cotización de la Cooperativa Eléctrica de Zárate (CEZ) por una línea aérea de 13.2 kV (Anexo II), con resultados similares.



Imagen 6. Imagen de un cruce aislado iluminado – Rutas 7 y 10 en la provincia de La Pampa.

Como resultante de la obra de iluminación de 11 cruces entre rutas provinciales en la Provincia de La Pampa (Licitación N° 2/17), se logró obtener una relación con perfecto ajuste que evidencia el incremento de los precios en forma proporcional a la distancia a la red de media tensión, el grafico 12 presenta el precio resultante por columna (luminaria) en función de la distancia a la red de media.

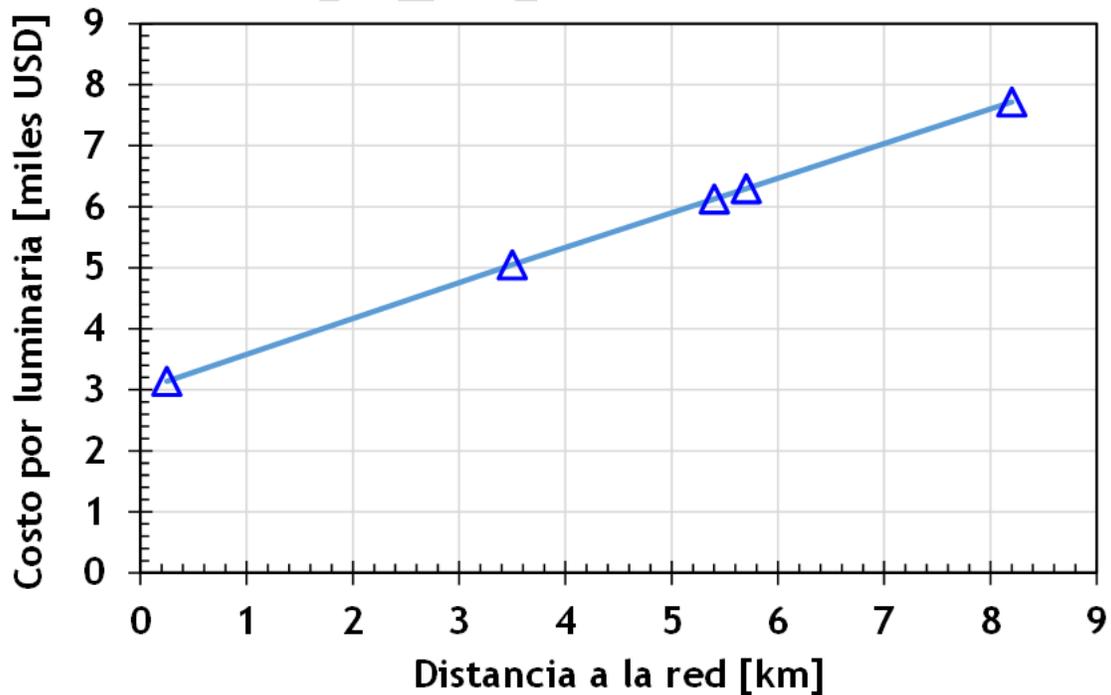


Gráfico 12. Costo por luminaria vs distancia a la red de Media Tensión (2017).

Es importante notar que el precio por columna para un sistema contiguo a la red de media tensión en esta obra de iluminación de 11 cruces resulta levemente más elevado que el resultante de la iluminación de los tres cruces (Licitación N°12/19), dado que en 2017 se consideraron luminarias de alta potencia para la zona principal a iluminar (450 W), con una zona de acostumbramiento previo (150 y 250 W), mientras que en 2019 solo se consideraron luminarias de 150 W.

Se puede ver también que en casos como el cruce entre la RP 20 y la RP 1 (distancia a la red de media tensión de 8,2 km), la incidencia del costo de la red de media tensión es muy alta y aumenta significativamente el costo final por luminaria.

Con el propósito de separar los costos asociados a la cantidad de luminarias de los costos únicos (transformadores, tableros y redes de MT), a continuación, se encuentra el promedio de los presupuestos del año 2019 para los sistemas convencionales.

ILUMINACIÓN CONVENCIONAL		
Item	Detalle	Precio Unitario (\$)
1	Bases de homigón para columnas	\$300
2	Intalacion de Columnas	\$1,000
3	Luminaria Convencional	\$400
4	Provisión y tendido de conductor	\$500
5	Puesta a tierra de columnas	\$200
Total		\$2,400

Tabla 9. CAPEX para una luminaria convencional (sin incluir tableros, transformadores ni redes de media tensión).

6.2 Sistema de iluminación solar – CAPEX

Dado que los sistemas de iluminación solar no requieren de infraestructura adicional, sus costos de capital están dados por la luminaria, la columna con su hormigonado y la instalación. En la Tabla 10 se encuentran los precios de venta de luminarias solares de características similares a las cotizadas en la Licitaciones de 2019, utilizando los costos de las bases de hormigón y columnas obtenidos de la misma.

ILUMINACIÓN SOLAR		
Item	Detalle	Precio Unitario (\$)
1	Bases de homigón para columnas	\$300
2	Intalacion de Columnas	\$1,000
3	Luminaria Solar	\$2,200
Total		\$3,500

Tabla 10. Precio de venta unitario final por luminaria solar.

Se estima un precio de venta instalado de aproximadamente U\$S 3500 por luminaria.

Para puntos cercanos a la red, los costos de capital de las luminarias solares son superiores a los que se observan en el grafico 12. Sin embargo, para instalaciones que se encuentran a más de 900

metros de la red, esta situación se revierte debido a la incidencia del costo de las redes de media tensión, como se observa en el gráfico 13.

Se debe aclarar que los costos por luminaria (sistema convencional) son particulares de estos presupuestos, los cuales contemplan la iluminación mediante 23 y 28 luminarias. En caso de que el cruce a iluminar posea menor cantidad de luminarias, la incidencia de las redes y transformadores no se ve disminuida, resultando de un aumento del costo final por equipo instalado del sistema convencional.

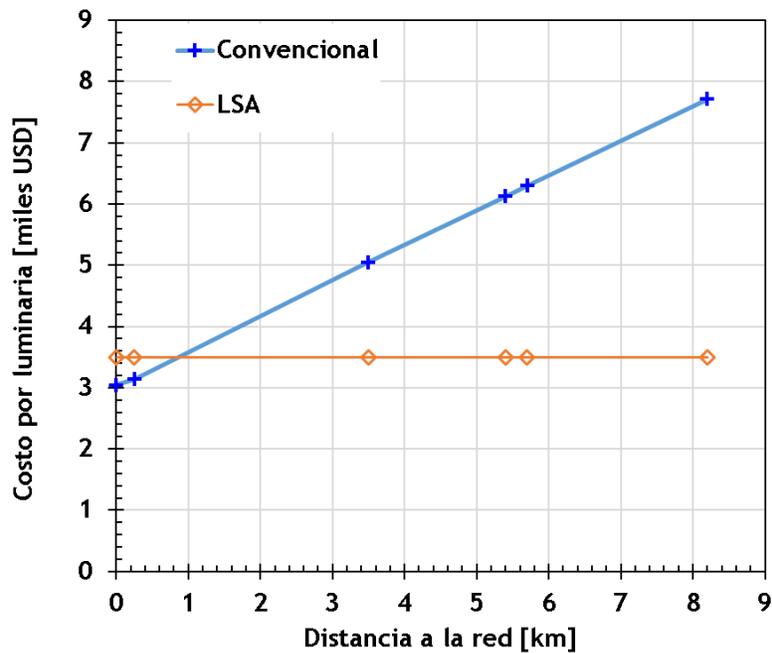


Gráfico 13. Costo de capital por luminaria vs distancia a la red de Media Tensión (2017).

6.3 Operación y Mantenimiento de Sistemas Convencionales y Solares

Los costos que se observan en el gráfico 13 tienen en cuenta el capital requerido para la puesta en marcha de ambos sistemas. Para realizar una comparación temporal, se debe tener en cuenta la incidencia de los costos de operación y mantenimiento (OyM) de cada sistema. Para esta comparación, un método comúnmente utilizado es a través del cálculo del **costo de vida útil (CVU)**, el cual cuantifica el valor actual de todos los gastos en la vida útil del sistema mediante una tasa de descuento “i”, utilizando la Ecuación 1.

$$CVU = \sum_{n=0}^N \frac{OPEX}{(1+i)^n} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

“OPEX” es el costo de operación y mantenimiento en un periodo.

“n” es el periodo.

“N” la cantidad de periodos de vida útil.

“i” es la tasa de descuento.

6.4 Sistema de iluminación convencional - CVU:

Se contemplan los siguientes costos:

1. El costo de mantenimiento de los transformadores, establecido en un 8% del CAPEX anual (22), equivalente a U\$S 360 al año.
2. El costo de mantenimiento de las luminarias, establecido en U\$S 35 anuales (23).
3. El costo de la energía al usuario final (alumbrado público) considerado es de 4.5 \$/kWh obtenido de promediar los costos de alumbrado público de las siguientes distribuidoras eléctricas:
 - Edenor (Buenos Aires)
 - Edesur (Buenos Aires)
 - EPE (Santa Fe)
 - CPE (La Pampa)
 - EDESAL (San Luis)

Dado que el propósito de este estudio es realizar un enfoque desde el punto de vista del Estado Nacional, se deben tener en cuenta que actualmente cerca del 58% del costo de la energía eléctrica es subsidiada por el estado (24), con lo cual el costo de la energía eléctrica para el estado supera los 11 \$/kWh (0.17 U\$S/kWh, valor utilizado en la evaluación). Considerando una luminaria de 150 W, con un uso anual de 3500 horas, a un costo de 0.17 U\$S/kWh, se obtiene un costo anual de U\$S 89 por luminaria.

Si consideramos 20 años de análisis (a modo de comparar fácilmente con los sistemas de iluminación solar), con una tasa de descuento del 6%, se obtiene un CVU de U\$S 1.255 por luminaria, con un CVU adicional del transformador de U\$S 4.130.

6.5 Sistema de iluminación solar – CVU

Se contemplan los siguientes costos de OyM de los sistemas de iluminación solar:

- Limpieza semestral de los paneles fotovoltaicos, utilizando un costo anual del 1% del CAPEX (25), equivalente a U\$S 35 por luminaria.
- Reemplazo de los sistemas de acumulación al final de su vida útil, tomando la tendencia de costos de los sistemas de acumulación (grafico 2) para estimar el precio que tendrán los mismos al final de su vida útil. Los mismos representan aproximadamente el 50% del costo total de la luminaria, y poseen una vida útil estimada de 6 años, con un costo actual de U\$S 1100 para la luminaria seleccionada en el capítulo V.
- El costo de mantenimiento de las luminarias, establecido en U\$S 20 anuales por luminaria (23).

Utilizando un horizonte de vida útil de 20 años, una reducción del costo de los sistemas de acumulación del 10% anual, el costo de mantenimiento mencionado anteriormente, y la tasa de descuento del 6%, se obtiene un CVU de U\$S 1.147 por equipo instalado.

Incorporando los valores de CVU a los costos de capital mencionados previamente, para el caso de La Pampa se obtienen los resultados representados en el grafico 14. Se puede notar que, para las instalaciones realizadas en La Pampa de 23 luminarias, a **distancias superiores a 600 metros se torna conveniente el uso de sistemas de iluminación solar.**

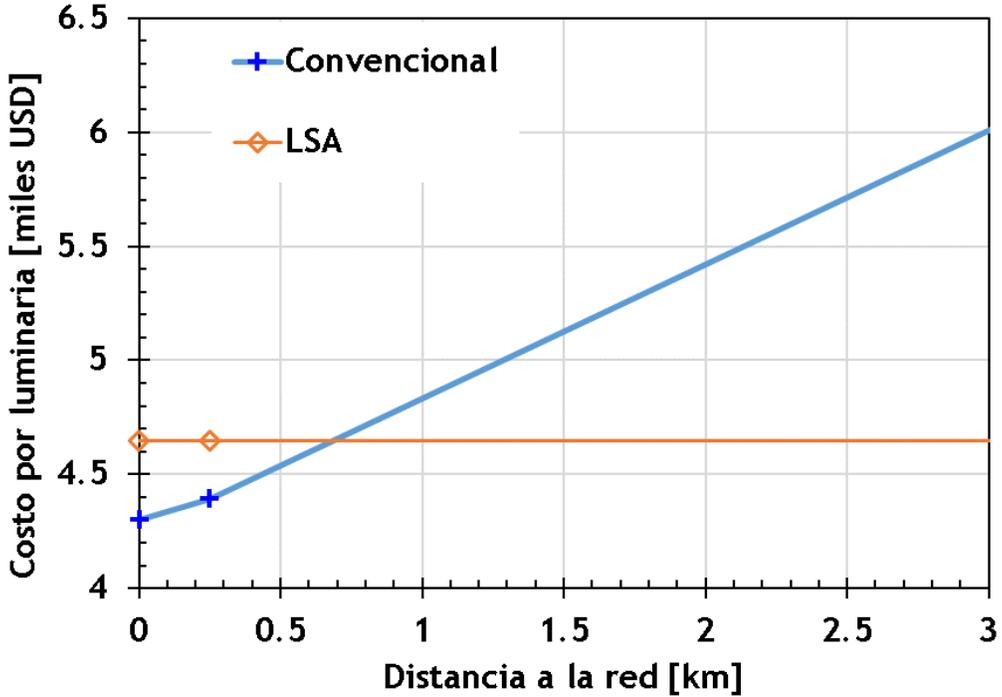


Gráfico 14. CAPEX + CVU para iluminación solar y convencional para las licitaciones de 2017 de La Pampa.

Los resultados obtenidos en este capítulo son válidos para la configuración de luminarias establecidas en la licitación de 2017 en La Pampa. En el capítulo siguiente se realiza una comparación de costos para diversas configuraciones, a modo de obtener conclusiones generales sobre las aplicaciones recomendadas para cada tecnología.

7 - Cruce aislado – comparativa entre la iluminación solar y la convencional

En este capítulo se estudia la viabilidad económica de instalar un sistema de iluminación convencional o solar para un cruce aislado, en función de su configuración, la cual queda establecida principalmente por la distancia a la red de media tensión y cantidad de luminarias.

Como se observó anteriormente, el *costo unitario de las luminarias solares es superior al costo unitario de las convencionales*. Es recién cuando se tienen en cuenta los costos asociados a transformadores y redes de media tensión que los sistemas convencionales resultan ser más costosos.

Los costos de la subestación transformadora pueden suponerse exógenos a la cantidad de luminarias instaladas en el cruce (manteniéndose dentro de valores típicos), con lo cual los costos variables de un sistema convencional están atados a la red de media tensión (asociado a la distancia a la red más cercana) y a la cantidad de luminarias.

Por otro lado, los costos de los sistemas de iluminación solar dependen únicamente de la cantidad de luminarias a instalar.

En el grafico 15 se puede observar una comparación de costos de cada sistema en función de la cantidad de luminarias, para una **instalación contigua a la red de media tensión**. Estos valores tienen en cuenta tanto el CAPEX como el CVU de cada alternativa.

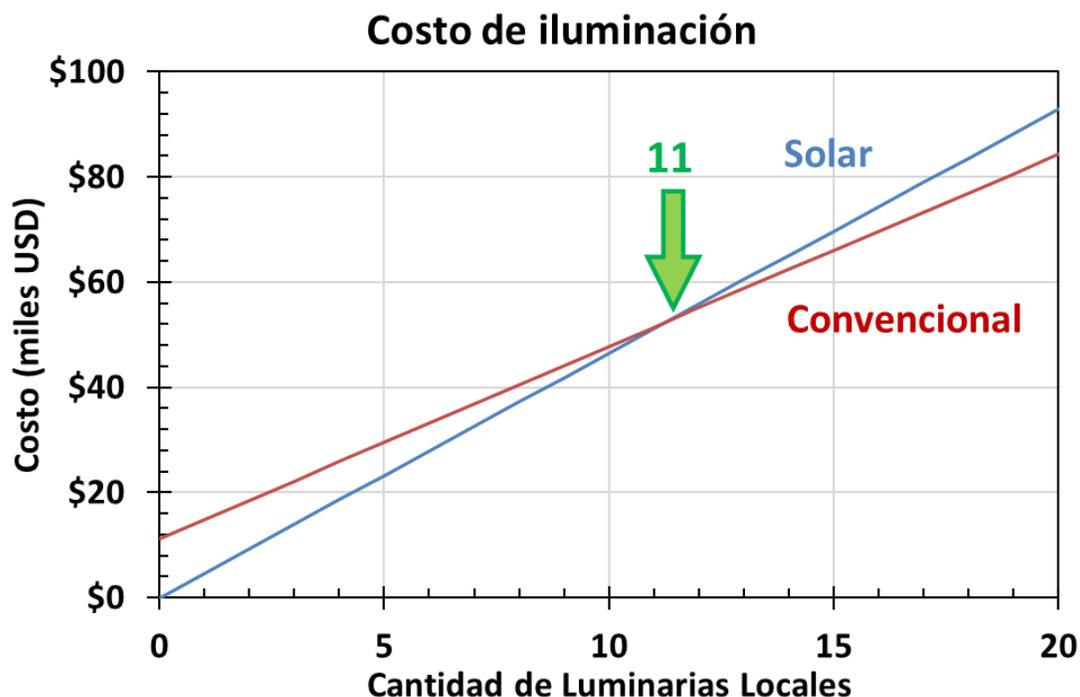


Gráfico 15. Costos de luminarias solares vs convencionales para un sistema contiguo a la red de media tensión.

Notar que, para una instalación con más de 11 luminarias, contigua a la red de media tensión, resulta más económico optar por una instalación convencional. Este resultado es esperado, ya que nos encontramos analizando un caso favorable al sistema convencional, debido a la cercanía de la red de media tensión.

Si el punto de intersección de costos en función de la cantidad de luminarias para ambos sistemas es graficado para múltiples distancias a la red de media tensión, es posible obtener una recta de quiebre entre ambas tecnologías, estableciendo así la viabilidad de un sistema u otro en función de ambas variables, como puede observarse en el gráfico 16.

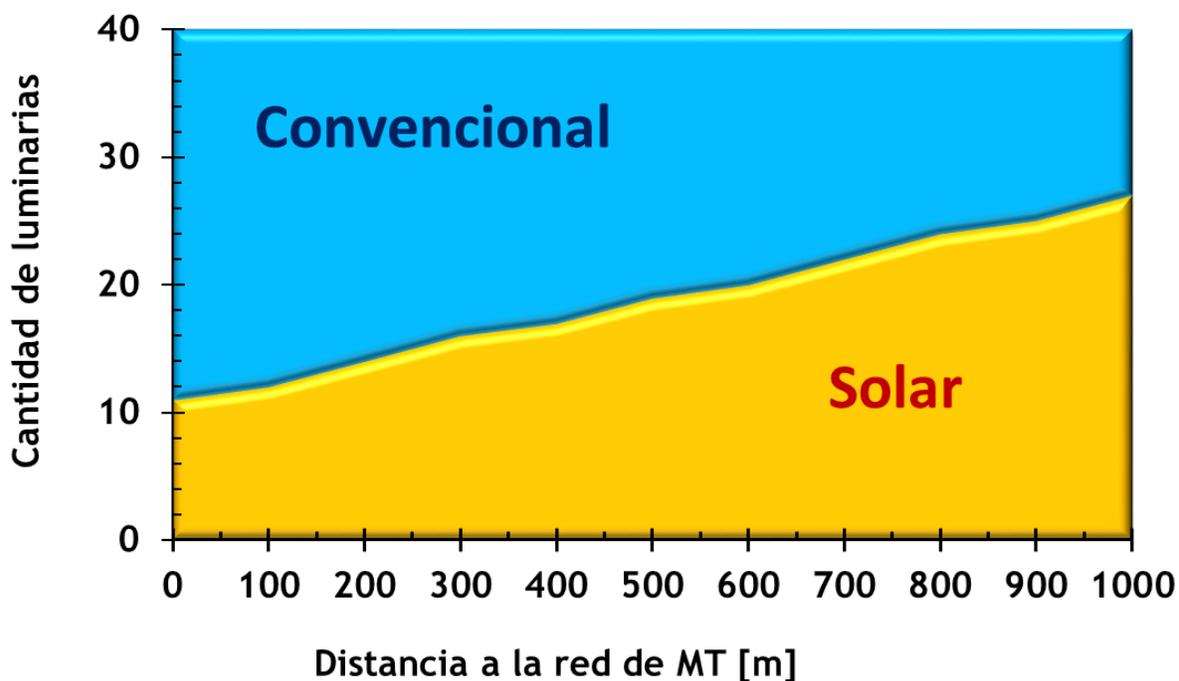


Gráfico 16. Las áreas de color indican cual es la tecnología más económica en función de la distancia a la red de media tensión y la cantidad de luminarias a instalar.

Ya que los cruces suelen iluminarse con 20-25 luminarias, se puede concluir que, **a más de 800 metros de la red de media tensión**, siempre es más económico utilizar iluminación solar.

8 - Iluminación de un tramo de una ruta – comparativa entre la iluminación solar y la convencional

En este capítulo, se realiza la comparación entre ambas tecnologías de iluminación, para la iluminación de un tramo lineal de 2 kilómetros de ruta.

Según normativas de Vialidad Nacional, el conexionado entre columnas debe ser realizado de forma subterránea. Para esto se utilizó una cotización de la Cooperativa Eléctrica de Zarate (Anexo II), la cual establece un valor de U\$S 35.000 por kilómetro de baja tensión para un sistema de alumbrado público. Los costos mencionados anteriormente se resumen en la Tabla 11.

Equipo/Elemento	Costo
Transformador 33/0.4 kV	U\$S 4.500
Tablero general de baja tensión	U\$S 1.100
Kilómetro de red de baja tensión	U\$S 35.000
Luminaria convencional con poste instalado	U\$S 2.400
CVU de una luminaria convencional:	U\$S 1.255
Luminaria Solar con poste instalado	U\$S 3.500
CVU de una luminaria solar	U\$S 1.147

Tabla 11: Costos de los distintos equipos.

En el gráfico 17 se pueden obtener los costos para iluminar un trayecto de 2 kilómetros lineales de ruta *contiguos a la red de media tensión*, para ambas tecnologías en función de la cantidad de luminarias por kilómetro, teniendo en cuenta los CVU de cada alternativa. *Se puede observar que con una densidad de luminarias por kilómetro mayor a 25, la tecnología de mayor conveniencia económica es la convencional.* Esto es esperable, ya que nuevamente nos encontramos analizando un caso de menor incidencia de la red de media tensión.

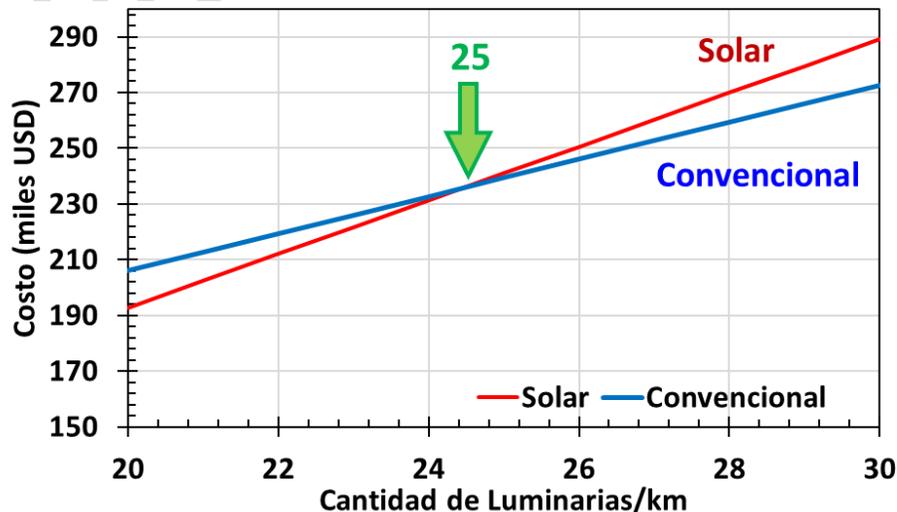


Gráfico 17. Comparativa de costos por tecnología en función de la cantidad de luminarias por kilómetro.

Si el punto de intersección de costos en función de la densidad de luminarias para ambos sistemas es graficado para múltiples distancias a la red de media tensión, nuevamente se obtiene una recta de quiebre entre ambas tecnologías, estableciendo así la viabilidad de un sistema u otro en función de ambas variables, como puede observarse en el grafico 18.

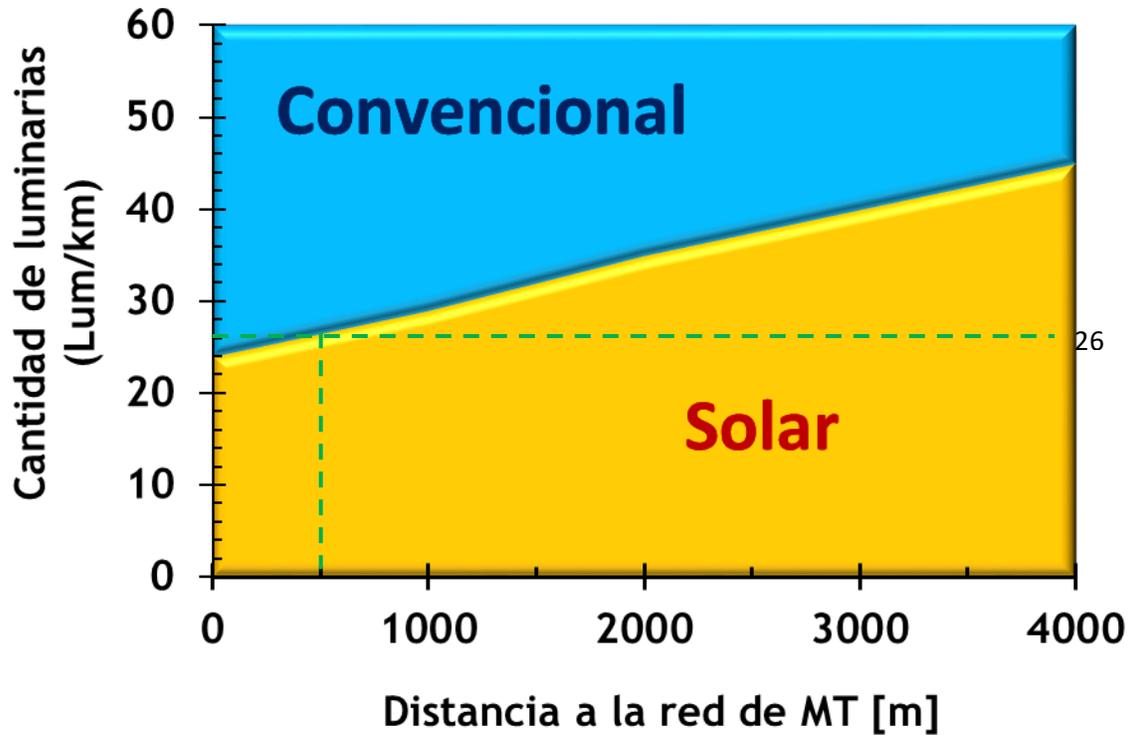


Gráfico 18. Las áreas de color indican cual es la tecnología más económica en función de la distancia a la red de media tensión y la densidad de luminarias por kilómetro.

Para una densidad estándar de unas 26 luminarias por km (distancia entre luminarias de 38 m) (17) si la distancia a la red de media es superior a 500 m, la iluminación solar es la más conveniente.

9 - Ventajas ambientales y sociales de la iluminación solar autónoma

La electricidad es uno de los vectores energéticos más útiles e importantes en nuestros días. La gran ventaja de la electricidad es que se puede transportar fácilmente por largas distancias y es fácil de transformarla en otras formas de energía (movimiento, calor, luz, etc), además de ser la energía característica de las nuevas tecnologías. De hecho, es el insumo de más rápido crecimiento en todo el mundo y en Argentina. (26) El transporte y distribución por supuesto tienen una eficiencia menor a 1, en Argentina este valor es del orden del 88%.

En el gráfico 19 se muestra la composición de la matriz eléctrica argentina, (27) en la que puede apreciarse una importante proporción de generación térmica, principalmente basada en el gas natural.

Matriz Eléctrica RA - Año=2019

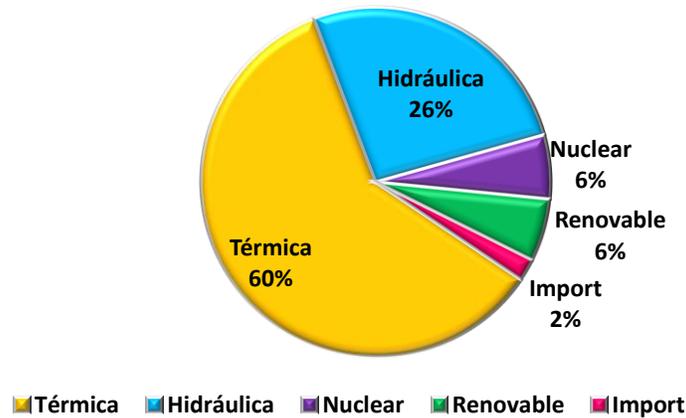


Gráfico 19. Matriz Eléctrica Argentina - 2019 [22]

Por su parte la distribución de la demanda por sector se ve en el gráfico 20.

Demanda Eléctrica por sector

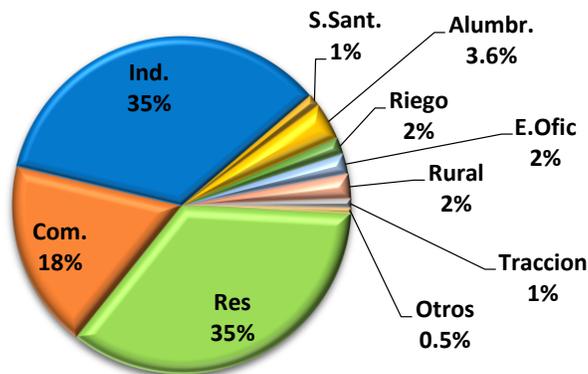


Gráfico 20. Distribución de la demanda eléctrica por sector. (27)

Como se ve, el consumo eléctrico asociado al alumbrado público es del orden del 4% del total. Sin embargo, su impacto en el sistema eléctrico es mucho más importante que lo que este simple porcentaje puede implicar, ya que su impacto es en las horas nocturnas, de 19 a 7 hs. Se puede estimar que su incidencia es cercana al 15% del consumo eléctrico nocturno, cuando la demanda del sistema eléctrico es mayor, y por lo tanto es mayor su vulnerabilidad.

Por consiguiente, las Luminarias Solares Autónomas (LSA) tienen muchas ventajas sociales y económicas que trascienden al mero costo de instalación, generando mayor seguridad en el servicio eléctrico de la población en general, y local en particular, que, aunque no estén ligados directamente al beneficio de la iluminación de rutas, reciben un beneficio de lograr un sistema eléctrico más confiable y robusto.

Desde luego, dado la dependencia de la matriz eléctrica nacional en los combustibles fósiles, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es otro beneficio social y global que los sistemas LSA brindan a la sociedad.

Actualmente, el factor de emisiones de la red eléctrica argentina es de aproximadamente 0.48 kgCO₂/kWh (28). Suponiendo luminarias de 100 W encendidos 3.500 horas al año, nos encontramos con un consumo anual de 350 kWh/año por luminaria. Utilizando la metodología tradicional de iluminar, cada equipo emitiría al ambiente aproximadamente 170 kg de CO₂ por año. Si, en cambio, se utilizara iluminación solar, estas emisiones serían reducidas a cero.

10 - análisis socioeconómico

En este capítulo comenzaremos con analizar el impacto en términos sociales que supone la iluminación de rutas para luego, en un posterior capítulo, centrarnos en las alternativas de financiamiento de esta necesidad.

10.1 Resultados de análisis económico

En el capítulo 1 arribamos a una estimación de los beneficios en términos de ahorros en víctimas de tránsito (vidas humanas y heridos graves) por iluminar los cruces y las travesías urbanas faltantes en Argentina, del orden de los USD 400 millones y también mencionábamos una serie de externalidades positivas de la iluminación, y en particular de la solar.

La seguridad personal (prevención del delito) constituye una clara externalidad positiva de la iluminación de cruces y travesías urbanas.

Otra externalidad positiva es la que se deriva de un desarrollo social con equidad. En este sentido, la iluminación es absolutamente necesaria, por ejemplo, para implantar un servicio seguro de transporte público. Una escuela rural ciertamente no debería funcionar si un acceso vial seguro en horas crepusculares o para el caso de turnos nocturnos. Un emprendimiento turístico buscará implantarse en un sector donde se asegure una accesibilidad segura las 24 hs, y así podemos seguir con multiplicidad de ejemplos.

Por último, las ventajas ambientales de la energía solar (Capítulo IX) constituyen un claro beneficio social si se lo compara con la iluminación a base de otras fuentes de energía no renovables y de fuerte impacto ambiental.

Por todas estas externalidades, es que para estimar a la totalidad del beneficio social de la iluminación de las rutas, incrementaremos el beneficio cuantificable por la mejora en la seguridad vial (USD 400 millones) en un 25% alcanzando un valor estimado de USD 500 millones.

Dado que no se conoce con exactitud las carencias en iluminación de las vialidades provinciales y nacionales (250.000 km, 40.000 km la nacional y 210.000 km la provincial), vamos a asumir que actuando en 100.000 km obtendremos la gran mayoría del beneficio social

Los parámetros principales de esta evaluación económica agregada del impacto de iluminar cruces y travesías urbanas y periurbanas en la red vial nacional y provincial son los siguientes;

- Inversión en 10 años, con una tasa social de descuento del 6%.
- Alimentación a energía solar con paneles y baterías
- Costo de toda la instalación expresado por luminaria de USD 4550; incluye incidencia de opex
- Proporción de cruces rurales con 8 (5-12) luminarias promedio: 70%
- Proporción de cruces principales con 28 (25-32) luminarias promedio: 30%
- Costo promedio ponderado por cruce: USD 60,000
- El valor social (precio sombra) de un cruce es de USD 45.000 (la rpc ratio precio de cuenta que relaciona el valor social al financiero es del orden de 0,75)
- El costo unitario por km de ruta convencional iluminada es de USD 125.000 por km (valor social USD 90,000/km)
- Actuamos en 5,000 cruces aislados y en 500 km de travesías urbanas

- Distribución uniforme de la inversión y de los beneficios

La tabla 12 presenta los resultados de la evaluación económica

Modelo de evaluación económica 5000 cruces y 500 km travesías

				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	cant.	beneficios	costo unit.		50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
cruces aislados (unidad)	5000	costos USD M)	-0,05	-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
travesías urbanas (km)	500	costos USD M)	-0,09	-4,5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
		saldo	-0,14	-27	23	23	23	23	23	23	23	23	23	50
			6% VAN	USD 157										
			b/c	0,9										
red provincial + nacional	100,000	20,0	km/cruce											

Tabla 12- modelo evaluación económica para la iluminación de 5,000 cruces y 500 kilómetros de travesías urbanas.

El modelo arroja un VNA de USD 157 millones y una relación beneficio neto sobre inversión (VAN/Inversión) de 0,9.

El tiempo de repago del modelo es entre el año 2 y 3, como puede verse en el grafico 21.

Pay back del proyecto

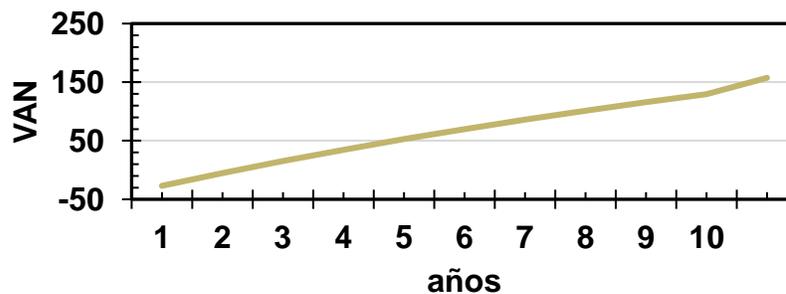


Gráfico 21. Tiempo de repago del proyecto.

El modelo asume que los beneficios se reparten en el tiempo de forma uniforme para su análisis simplificado. No obstante, esta es una posición conservadora ya que, de contar con buena información, se actuaría sobre las zonas con mayor siniestralidad vial lo que adelanta en el tiempo los mayores beneficios, con la consecuente mayor rentabilidad social de la inversión.

A su vez, el modelo también asume que la distribución de la inversión es también uniforme tanto en volumen de obra (luminarias) como en valor económico. No obstante, esta también es una posición conservadora ya el valor económico a futuro seguramente bajará debido a la constante baja en los precios de los equipos y mejora en su prestación (tanto en baterías como en paneles).

Si hacemos el ejercicio de estresar al modelo (llevar al modelo al VAN cero) de modo de estimar cual es la totalidad de la inversión estrictamente rentable en el límite, obtenemos el siguiente panorama:

Modelo de evaluación económica- estrés

				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	cant.	beneficios	costo unit.		50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
cruces aislados (unidad)	8000	costos USD M)	-0,05	-36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
travesías urbanas (km)	1200	costos USD M)	-0,09	-10,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
		saldo	-0,14	-46,8	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	50
		6% VAN	USD 2,9											
		b/c	0,0											
red provincial + nacional	100,000	31,0	km/cruce											

Tabla 13- modelo evaluación económica, estrés.

El resultado es que se podría iluminar 8.000 cruces aislados y actuar en 1,200 km de travesías urbanas y periurbanas. En los supuestos 100.000 km principales de la red vial nacional y provincial, supone la iluminación de un cruce (faltante de iluminar) cada 13 km.

10.2 Impacto macroeconómico de la iluminación de las rutas

Si bien las estimaciones de los costos de la energía convencional volcada en los Capítulos anteriores han sido en términos de valores medios de la energía, es relativamente fácil entender que el costo de iluminar un cruce en zonas apartadas de las líneas de media tensión será mayor al de hacerlo en zonas cercanas.

La imagen 7 corresponde a las redes de transporte de energía de alta tensión en las regiones centrales y norte de Argentina. En el mapa podemos observar los grandes espacios comprendidos entre las redes de transporte de 500 kv. De verlo mas en detalle, también encontraríamos espacios alejados de tramos de la red de menor potencia, mayores a 33 kv (límite inferior de las líneas de media tensión)

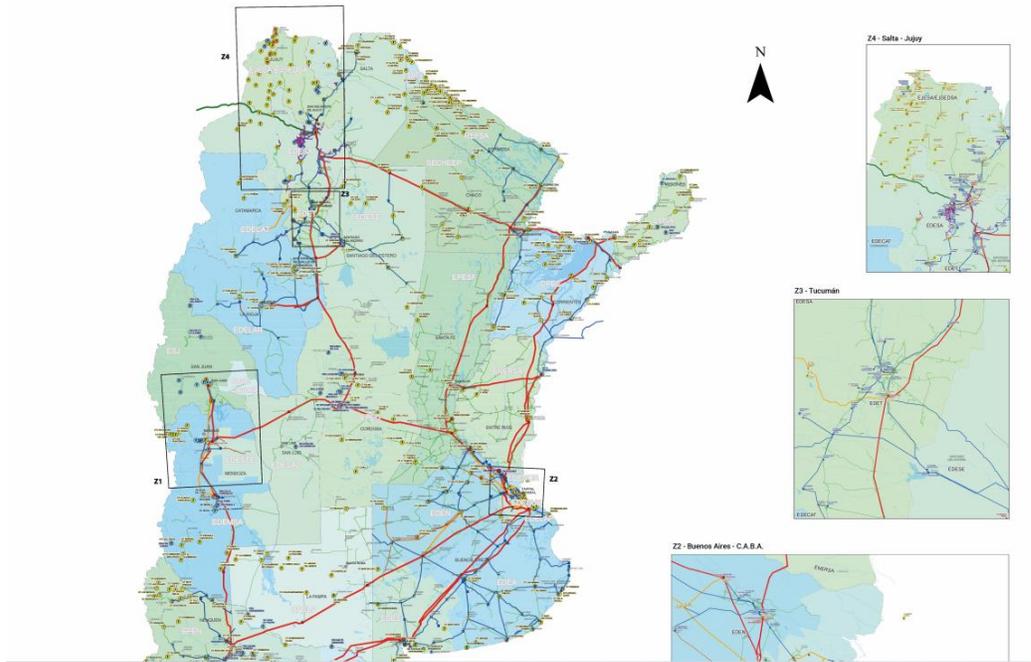


Imagen 7. redes de transporte de energía de alta tensión en las regiones centrales y norte de Argentina. Fuente: Subsecretaría de planeamiento energético.

Por otro lado, si se ejecutara una iluminación masiva de cruces aislados con energía convencional, se estaría estresando una infraestructura en zonas donde se encuentra más debilitada, pudiendo necesitar para ello inversiones adicionales.

Finalmente, también se aumentaría la demanda de energía convencional en horario pico, con los consecuentes incrementos de los costos marginales por la saturación de las redes, el empleo de energías más caras y contaminantes o la necesidad de importar energía para cubrir estos picos.

En consecuencia, si incorporamos este análisis de impactos macroeconómicos en un proyecto de escala nacional, vamos a llegar a la conclusión que, en la mayoría de los casos, va a ser conveniente pensar la futura iluminación de rutas exclusivamente en términos de energía solar.

11 - Alternativas de financiamiento

11. 1 La seguridad vial y el federalismo de concertación

La Argentina se rige por un sistema constitucional federal con un Gobierno Nacional y veintitrés Provincias más la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, cada una con sus respectivos poderes.

En Argentina existe una ley nacional de tránsito (Ley 24.449/1995 modificada por la Ley 26.363/2008), a la cual han adherido las Provincias en distintos grados y con distintas reservas.

De este modo, en cuestiones de tránsito y transporte, la jurisdicción sobre cualquier ruta es provincial y municipal, así como también lo son las normativas. Dicho de otro modo, si bien la zona de camino de una ruta nacional es de dominio público nacional, la jurisdicción sobre esa franja es provincial o municipal. Lo mismo ocurre con una ruta provincial en relación con el municipio. Por ejemplo, la velocidad máxima sobre una travesía urbana de una ruta provincial bien podría estar determinada en forma específica por el municipio.

La Ley 26.362 del año 2008, crea la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV), con el objeto de coordinar políticas y uniformizar criterios en la materia. No obstante, tanto el cuidado de la seguridad vial de automovilistas y transeúntes como la operatoria y el control del tránsito y el transporte en general, sigue sujeta a lo que se denomina un federalismo de concertación que supone acuerdos continuos entre los distintos niveles jerárquicos: nacional, provincial y municipal.

En el marco de este federalismo de concertación, la seguridad vial tiene un fuerte acento local que parte del hecho de que la inseguridad vial afecta principalmente al usuario local y que probablemente sea el gobierno local el que mejor conozca dónde actuar.

En otras palabras, el gobierno local tiene el poder de policía sobre una infraestructura que no controla ni gerencia, produciéndose como consecuencia una pérdida de eficiencia en la gestión vial que va de la mano de la pérdida en vidas y bienestar humano. Por ejemplo, un cruce peligroso que necesita inversiones en mejorar su infraestructura (iluminación, canalizaciones, semaforización), puede estar consumiendo recursos locales ineficientemente y por largo tiempo mientras que la inversión nunca llega.

11.2 La problemática en la resolución de las necesidades de seguridad vial a nivel Municipal en las rutas nacionales o provinciales.

Para el caso concreto de la iluminación, como con otros aspectos de la seguridad vial, los reclamos se dirigen generalmente al Municipio, el cual si bien tiene jurisdicción sobre el cruce o la travesía de que se trate, se tropieza con dos obstáculos: uno técnico-administrativo y otro financiero.

En lo técnico-administrativo, el Municipio no suele contar con recursos técnicos para generar proyectos con los estándares necesarios que impulse el proceso administrativo de resolución de una necesidad vial correspondiente (ejecución del proyecto, elevación a la agencia vial con dominio sobre la ruta). Alternativamente, si el Municipio decide actuar vía reclamo administrativo, o por otras vías, los tiempos resultan inciertos.

Pero lo cierto es que el Municipio depende siempre del ok técnico de la Agencia vial, no solo respecto de la calidad de la solución técnica sino de la propia procedencia de la inversión: si conviene llevarla a cabo, o si es el correcto momento de hacerlo.

En lo financiero, el Municipio no suele contar con recursos aplicados a estas cuestiones, por un lado, y por otra parte espera siempre que estos recursos procedan de Nación o Provincia, como proceden la mayoría de los recursos con que cuenta.

A su vez, el Municipio no suele conocer tampoco las formalidades y los requisitos técnicos como para llegar a un financiamiento blando de algún banco multilateral.

Desde la óptica de la Agencia Vial que gerencia la ruta, no es esperable, por ejemplo, que la DNV (Dirección Nacional de Vialidad), tenga monitoreado un cruce y prevea la necesidad de actuar sobre la infraestructura preventivamente vía iluminación u otras medidas complementarias.

La DNV o la Dirección Provincial de Vialidad, podrá prever la necesidad de repavimentar un tramo de ruta, o de ampliar su capacidad o, a lo máximo, podrá ejecutar una infraestructura para toda una travesía urbana de relevancia: todas cuestiones que ciertamente deben tenerse en cuenta a la hora de actuar en lo particular.

Pero la Agencia vial no está encima de las necesidades específicas (muchas de ellas concernientes a la seguridad vial) que paradójicamente son las más económicas de cubrir y de una inversión asociada de un alto beneficio social (bajas inversiones que salvan vidas y ahorran mucho sufrimiento).

En lo económico financiero, las Agencias viales rara vez destinan recursos para resolver cuestiones específicas de seguridad vial: Estas cuestiones, en general, se resuelven en el marco de obras mayores que tardan en llegar, si es que llegan alguna vez.

11.3 Propuesta de conformación de Fideicomisos Públicos para la mejora de la seguridad vial a nivel municipal

Como bien señala una investigadora⁵: “La realidad nos lleva a reconocer que muchos proyectos locales de desarrollo iniciados con el esfuerzo de muchos sectores de la comunidad, se diluyen reiteradamente por la inexistencia de planeamiento, la deficiente comunicación hacia los beneficiarios, la incertidumbre de su continuidad ante los cambios de gestión, y la falta de recursos humanos y técnicos, lo que fue llevando a la necesidad política de optar por la asistencia basada en la emergencia, en vez de la promoción y el desarrollo” (29)

La anterior sentencia puede resultar muy representativa de lo que ocurre a nivel de la seguridad vial, cuando se actúa de emergencia y por detrás de los acontecimientos, sin planificación preventiva ni recursos líquidos específicos.

Pese a declamarse continuamente que la política en seguridad vial debe constituirse en una política de estado, el Presupuesto Nacional no contiene un solo renglón ordinario destinado a la seguridad vial.

Lo que proponemos para financiar la iluminación de rutas en particular y la seguridad vial en los aspectos específicos de escala municipal, es la conformación de Fideicomisos Públicos financieros a través de los cuales, el Estado (nacional, provincial), por medio de sus dependencias (agencias viales) y en su carácter de fiduciante, afecta fondos públicos, para realizar un fin lícito de interés público asociado a la seguridad vial.

Si bien el objetivo de este trabajo no es definir un esquema específico de financiamiento que pueden ser de múltiples formas, en líneas generales proponemos la siguiente distribución de funciones:

- El Municipio detecta la necesidad, financia la ejecución del proyecto y lo eleva a la Agencia Vial.

⁵ Susana Campari de la UNRC

- El Municipio licita, contrata la obra y la gerencia
- El Municipio paga la obra con títulos emitidos por el fideicomiso. El contratista adhiere al fideicomiso como beneficiario (condición que le da la posesión de los títulos).
- Los títulos se emiten en función del avance de la inversión certificada por el Municipio.
- El fideicomiso se puede nutrir de distintos fondos. Uno de los principales podría ser el fondo SISVIAL (fondo dirigido a las inversiones viales que forma parte, a su vez, del SIT Sistema de Infraestructura de Transporte que se fondea con el impuesto a los combustibles líquidos)

De este modo se puede lograr una sinergia positiva entre el gobierno local que satisface una necesidad y el gobierno nacional o provincial que se ahorra recursos en detectar estas necesidades.

El beneficio social total estriba en que se asignan recursos públicos a obras de alta rentabilidad económica y en forma preventiva de modo de maximizar este beneficio social.

Los bancos multilaterales de crédito pueden participar directamente del fondeo del fideicomiso o a través de programas previamente acordados con el gobierno nacional o provincial.

El municipio puede participar también como fiduciante del fideicomiso a partir de la derivación de fondos coparticipables o recursos propios. Asimismo, se pueden generar imposiciones específicas a través de tasas y contribuciones específicas.

De igual modo, sería deseable que los Municipios participaran en el fondeo, en especial en la financiación de la ejecución de los estudios regulares que permitan detectar las necesidades, en el financiamiento de los proyectos y en inspecciones regulares de seguridad vial.

En forma enumerada los beneficios serían:

- I. se garantizan recursos hacia la seguridad vial que, de otro modo, desde una óptica nacional o provincial pueden desviarse para cubrir otras necesidades
- II. Se complementa la capacidad de policía que ya tiene el Municipio o la Provincia para aplicar la ley en temas de tránsito y transporte, con las herramientas para gerenciar la operatoria desde el punto de vista de la infraestructura: pudiendo generar, licitar, auditar e inspeccionar los proyectos de seguridad vial.
- III. Se federaliza y jerarquiza a la seguridad vial, induciendo mayor concientización en la población en todo el territorio.
- IV. Se induce a la formación de profesionales, técnicos y de empresas que brinden servicios de construcción y consultoría en la materia en todo el territorio.

Los dos últimos apartados sean, quizás, la mayor externalidad positiva de estas inversiones que impactan en el mediano y largo plazo asegurando una verdadera continuidad en el tiempo de este tipo de políticas; ya que la propia población va a reclamar esta continuidad.

EN PROCESO DE DISEÑO

12 - Casos de éxito

A continuación, se muestran algunos ejemplos de casos de éxito en la aplicación de luminarias solares:

Brax (Francia) - Iluminación de una rotonda (30)



Imagen 8. Iluminación de rotonda – Brax (Francia).

Barranquilla (Colombia) - Iluminación solar de un viaducto (31)



Imagen 9. Iluminación de un viaducto – Colombia.

Senegal - 50.000 luminarias solares - el proyecto más grande del mundo. (32)



Imagen 10. Iluminación Solar – Senegal.

Marruecos – Iluminación solar de una ruta (33) (33)

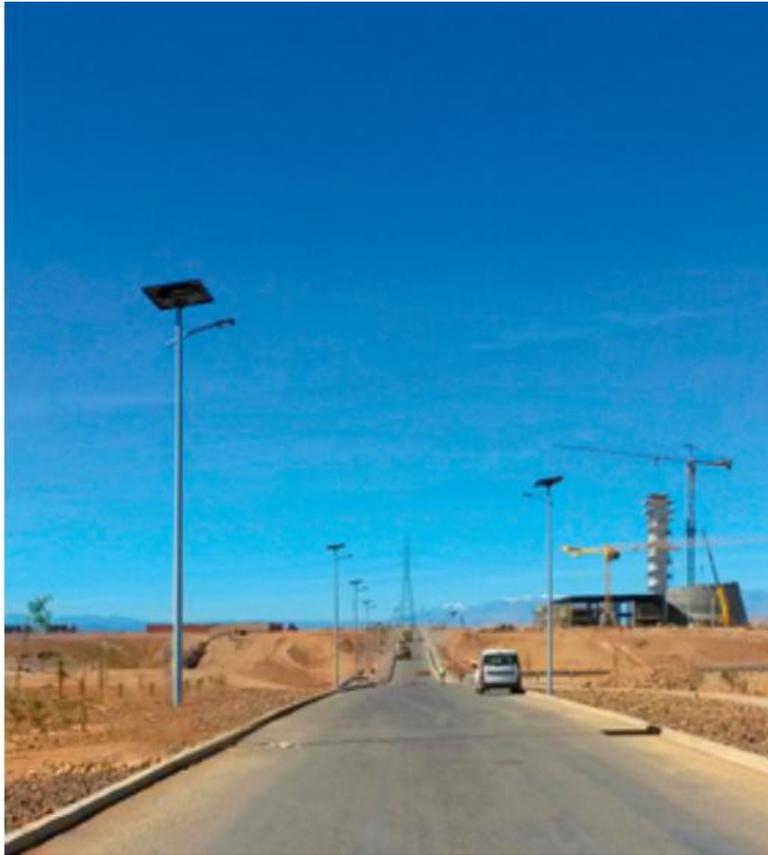


Imagen 11. Iluminación solar de una ruta en Marruecos.

Sierra Leona – Iluminación solar de una ruta (33)



Imagen 12. Iluminación solar de una ruta en Sierra Leona.

Francia – Iluminación solar de un estacionamiento



Imagen 13. Iluminación solar de un estacionamiento en Francia.

Francia – Iluminación solar de un acceso industrial



Imagen 14. Iluminación solar de un acceso industrial en Francia.

13 - Conclusiones

Existe mucha evidencia, tanto nacional como internacional, que muestran la importancia del alumbrado en la seguridad de las rutas y carreteras. En varios países se observan reducciones del 35% en la probabilidad de accidentes realizando mejoras en la iluminación vial. En este trabajo se estudió la alternativa de utilizar Luminarias Solares Autónomas (LSA), basadas en lámparas LED, paneles solares fotovoltaicos y baterías, en relación con los sistemas convencionales, basada en sistemas de iluminación conectados a las redes eléctricas estándares. Los sistemas de LSA aprovechan de una conjunción de varios avances tecnológicos ocurridos en los últimos años: el incremento en eficacia que han tenido las lámparas LED y la pronunciada disminución de costos en los paneles fotovoltaicos y baterías de acumulación. Este estudio indica que, para puntos aislados, contiguos a una red de media tensión, si se planifica instalar pocas luminarias en cruce o punto singular (menos de 11), la alternativa de LSA es más conveniente que las convencionales. Por otro lado, si la distancia a la red de media tensión es superior a 800 m, ya sea para punto aislados o líneas de luminarias sobre carreteras, la alternativa solar autónoma es más conveniente. Sin embargo, extrapolando las tendencias actuales de evolución de precios. Es previsible que la combinación: lámpara LED, Paneles Solares FV y baterías; se deduzcan a la mitad de su valor actual en el próximo lustro. Con lo que la conveniencia de utilizar sistemas LSA será en el futuro próximo aún más conveniente. Las LSA tienen además muchas ventajas sociales y económicas que trascienden al mero costo de instalación, generando mayor seguridad en el servicio eléctrico de la población en general, que, aun que no estén ligados directamente al beneficio de la iluminación de rutas, reciben el beneficio de lograr un sistema eléctrico más confiable y robusto. Desde luego, dado la dependencia de la matriz eléctrica Argentina en los combustibles fósiles, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es otro beneficio social y global que los sistemas de LSA brindan a la sociedad. En síntesis, las LSA además de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, pueden brindar iluminación incluso cuando hay cortes en la red de distribución, a la par de contribuir a una mayor seguridad de provisión de servicios eléctricos seguros a toda la población en general, al reducir su impacto en la demanda en los horarios de mayor consumo.

EN PROCESO DE DISEÑO

14 - Referencias

1. IRENA. Renewable Power Costs. [Online] 2020. <https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2019/May/Falling-Renewable-Power-Costs-Open-Door-to-Greater-Climate-Ambition>.
2. —. Solar photovoltaic Summary Charts. [Online] 2020. <https://www.irena.org/costs/Charts/Solar-photovoltaic>.
3. Bloomberg. [Online] 2019. <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>.
4. Our World In data. Causes of Death in the World. [Online] 2020. <https://ourworldindata.org/causes-of-death>.
5. Organización Mundial de la Salud (OMS). SITUACIÓN MUNDIAL DE LA SEGURIDAD VIAL 2015. [Online] OMS, 2015.
6. Organización Mundial de la Salud. Accidentes de tránsito OMS. [Online] Accidentes de tránsito, 2020. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>.
7. Our World In data. Our World In data. The annual number of deaths from road accidents per 100,000 people. [Online] 2020. <https://ourworldindata.org/grapher/death-rates-road-accidents?tab=chart&time=earliest..latest&country=ARG~AUS~AUT~CAN~FRA~DEU~JPN~GBR~USA>.
8. Elvik, R. and Vaa, T. *The Handbook of Road Safety Measures*. Burlington, MA : Elsevier Science, 2004.
9. *Quantifying the impact of road lighting on road safety — A New Zealand Study*. Jackett, M. and Frith, W. 2013, IATSS Research IATSS Research , Vol. 36, pp. 139–145.
10. Elvik, R.A. *Meta-analysis of evaluation of public lighting as an accident countermeasure*. Washington, D.C. : Transportation Research Board 1485, 1996. pp. 112-123.
11. DNV Dirección Nacional de Vialidad. *Base de accidentes de tránsito año 2019*. 2020.
12. Dirección Nacional de Observatoria vial. *Anuario Estadístico de siniestralidad vial*. 2018.
13. CESVI Argentina. *Estadísticas generales*. 2016.
14. ANSV, OBSERVATORIO VIAL. *Estimación de los costos de siniestralidad vial en Argentina*. 2019.
15. Paul Lutkevich, Don McLean, Joseph Cheung. *FHWA Lighting Handbook August 2012*. Washington D.C. : Federal Highway Administration, 2012. pp. 1-90.
16. *FHWA, European Road Lighting Technologies*. Washington, DC : Report No. FHWA-PL-01-034, 2001.
17. Negro, A. Cabello y L. del. *Alumbrado público alternativo de una ruta nacional con proyectores asimétricos*. Tucumán : Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión-FCEyT-UNT, 2016.
18. IRAM Instituto Argentina de Racionalización de Materiales. *AADL J 2022-2- Alumbrado Público, Vías de tránsito, Clasificación y niveles de iluminación*. 1995.
19. Cordero, Raúl Germán. Sunfield Solar. [Online] 2020. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/como-varia-la-captacion-de-energia-solar-en-superficies-inclinadas/>.
20. PVsyst. PVsyst is designed to be used by architects, engineers. [Online] 2020. <https://www.pvsyst.com/>.

21. Gobierno de México. Metodología de evaluación de la energía solar . [Online] 2016. https://dgel.energia.gob.mx/azel/Metodologias/Metodologia_energia_solar.html.
22. Bian, Jianpeng. *Probabilistic Analysis of Life Cycle Cost for Power Transformers*. 2014.
23. CADESA. *Análisis del costo de mantenimiento de 151 luminarias led*. 2018.
24. CAMMESA. *Informe Programación Estacional Provisoria - Noviembre 2020 Abril 2021*. 2020.
25. NREL. *Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems*. 2014.
26. *Gas versus Electricidad: Uso de la energía en el sector residencial*. Gastiarena, M. and et, all. [ed.] IAPG. Buenos Aires : s.n., Abril 2017, Revista PETROTECNIA, Vol. LVI, pp. 50-60.
27. Secretaría de Energía de la Nación. Datos Abiertos de Energía Argentina. [Online] 2019. <http://datos.minem.gob.ar/dataset/balances-energeticos>.
28. Ministerio de Minería y Energía. *Cálculo de Factor de Emisiones de la Red Eléctrica Argentina*. 2015.
29. *Obtener Recursos Para Financiar El Desarrollo Local Y Regional. Entre La Lógica, Lo Posible Y Lo Improbable*. Campari, Susana. Córdoba, Argentina : Universidad Nacional de Villa María, 2004. Vi Seminario Naional De La Red De Centros Académicos Para El Estudio De Gobiernos Locales.
30. Iluminet. Todo tiene su ciencia, ¿cómo iluminar glorietas? *Iluminet es una de las revistas especializadas en iluminación* . [Online] 2015. <https://www.iluminet.com/iluminacion-glorietas-ies/>.
31. EHU Ingeniería de proyectos. . Viaducto El Gran Manglar . [Online] 2018. <https://www.ehuingenieria.com/viaducto>.
32. Afrik21. SUSTAINABLE CITIES. *SENEGAL: Fonroche completes 50% installation of 50,000 solar street lights*. [Online] April 24, 2020. <https://www.afrik21.africa/en/senegal-fonroche-completes-50-installation-of-50000-solar-street-lights/>.
33. *Solar Energy and New Energy Technologies for Mediterranean Countries*. Ciriminna, R. and et, al. 2019, Global Challenges 2019, 1900016, Vol. 1900016, pp. 1-6.
34. SAAEA. Solar streetlights installed at mine - South Africa. *SAAEA represents and actively promotes Renewable Alternative Energy Solutions globally*. [Online] 2019. <https://www.saaea.org/renewable-energy-news/category/led%20lighting>.
35. The World bank. Lighting Africa - The World Bank. [Online] 2020. <https://www.lightingafrica.org/>.

15 - Anexos

15.1 Anexo I: Método de cálculo para la puntuación de luminarias

Para la puntuación de las luminarias, se tomó una escala del uno al cinco, donde cinco (5) es el mejor valor, y cero (0) el peor. Dado que se evalúan magnitudes diversas, el método de comparación siempre se encuentra limitada por los valores límites de las luminarias evaluadas.

El cálculo comienza al elegir una variable del grupo de luminarias a analizar (por ejemplo, costo u autonomía). Para cada equipo, se puntúa la variable seleccionada utilizando las ecuaciones 2 y 3, como se explica a continuación.

Si un valor elevado de la variable es deseado (por ejemplo, autonomía), se utiliza la siguiente ecuación:

$$P(X_k) = 5 - \left[5 * \frac{X_{max} - X_k}{X_{max} - X_{min}} \right] \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

$P(X_k)$ es el puntaje de la variable X de la luminaria k

X_k es el valor de la variable X de la luminaria k

X_{max} es el valor máximo de la variable X entre las luminarias seleccionadas

X_{min} es el valor mínimo de la variable X entre las luminarias seleccionadas

De esta forma, si la variable de la luminaria en cuestión (X_k) es la mayor entre las luminarias analizadas, tendrá una puntuación máxima (5). Si la variable de la luminaria en cuestión es la menor entre las analizadas, tendrá una puntuación mínima (0).

Si un valor reducido de la variable es deseado (por ejemplo, costo), se utiliza la siguiente ecuación:

$$P(X_k) = 5 * \frac{X_{max} - X_k}{X_{max} - X_{min}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$P(X_k)$ es el puntaje de la variable X de la luminaria k

X_k es el valor de la variable X de la luminaria k

X_{max} es el valor máximo de la variable X entre las luminarias seleccionadas

X_{min} es el valor mínimo de la variable X entre las luminarias seleccionadas

De esta forma, si la variable de la luminaria en cuestión (X_k) es la menor entre las luminarias analizadas, tendrá una puntuación máxima (5). Si la variable de la luminaria en cuestión es la mayor entre las analizadas, tendrá una puntuación mínima (0).

15.2 Anexo II: Cotizaciones CEZ



Cooperativa de Electricidad y
Servicios Anexos Ltda. de Zárate
Bolívar y Andrade (2800) Zárate
Tel. 03487-422002

OBRA:

DESCRIPCION: Tendido preensamblado convencional, 100 mts. lineales
Baja Tensión e instalación de nuevo sistema de Alumbrado Público.

RESUMEN DE COSTOS: ***LINEA DE BAJA TENSION* 3X50+50+25 mm².**

Costo total de materiales.....	2.268,29
Costo total de mano de obra.....	1.224,88
subtotal.....	3.493,17
I.V.A. 21%.....	733,57
TOTAL1.....	4.226,74

VALORES EXPRESADOS EN DOLARES

EN PROYECTO



Cooperativa de Electricidad y
Servicios Anexos Ltda. de Zárate
Bolívar y Andrade (2800) Zárate
Tel. 03487-422002

OBRA:

DESCRIPCION: * Tendido de Línea de Media Tensión, sistema coplanar Horizontal, 13,2 kV.
1000 mts. Lineales

RESUMEN DE COSTOS: ***LINEA DE MEDIA TENSION* 13,2 kV.- 1000 mts. lineales**

Costo total de materiales.....	13.080,39
Costo total de mano de obra.....	5.886,17
subtotal.....	18.966,56
I.V.A. 21%.....	3.982,98
TOTAL1.....	22.949,54

VALORES EXPRESADOS EN DOLARES

EN PROCESO