

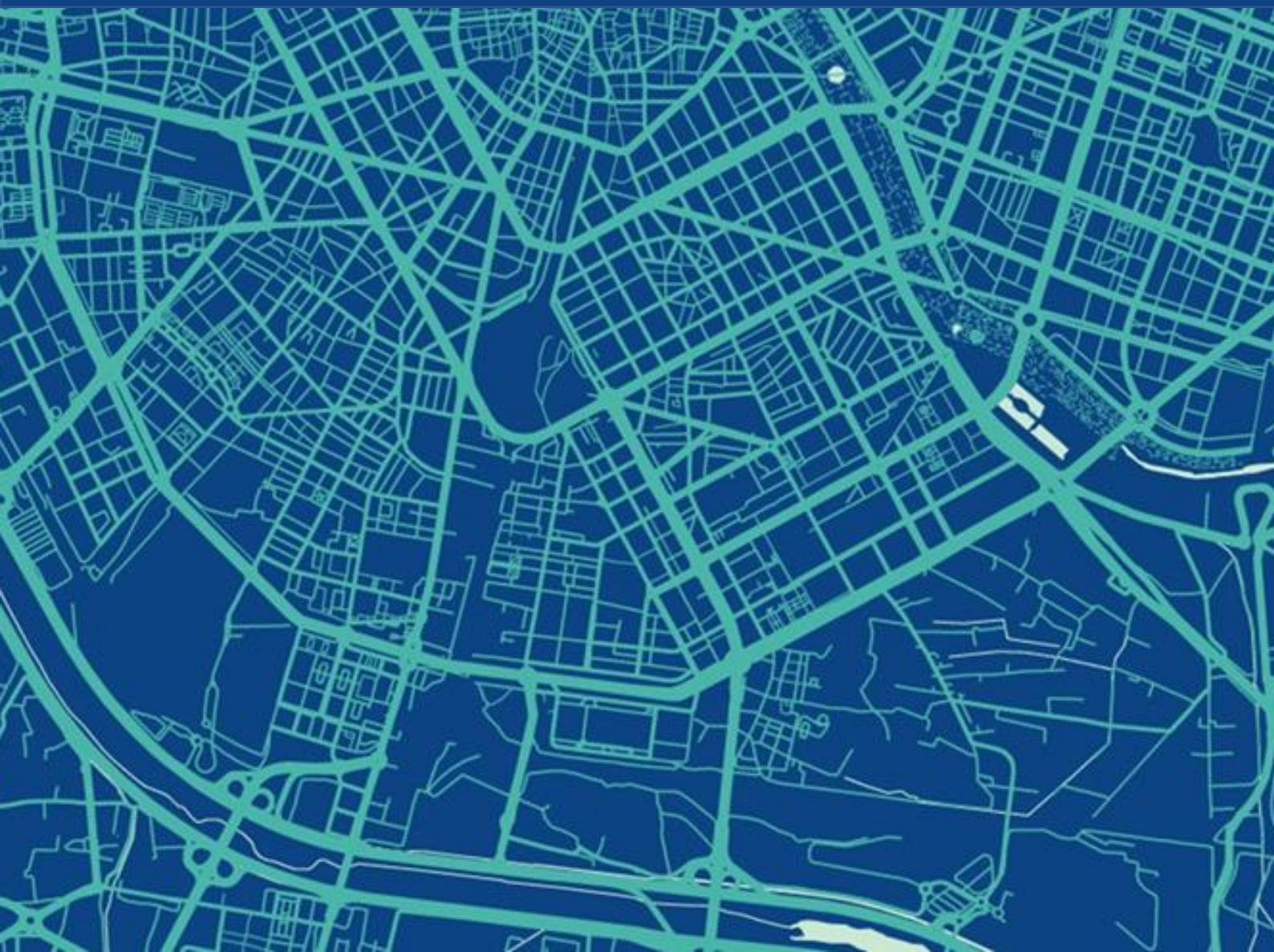
ImpactE

Innovation to lead the energy transition

M Más
Madrid



Estudio del potencial fotovoltaico de 150 centros educativos en la Comunidad de Madrid



COLES SOLARES

MÁS AHORRO

150 COLES

de la Comunidad
de Madrid

► Inversión inicial de **13 millones €**.

► Recuperación de la inversión
tras 8 años con un ahorro de
1,7 millones €.

► Ahorro de entre **100€ y 250€**
anuales para 11.500 familias
durante 25 años.

Todos

los centros
de la región

► Inversión inicial de **139 millones €**.

► Recuperación de la inversión
tras 8 años con un ahorro de
18,19 millones €.

► Ahorro de entre **235€ y 315€**
anuales para 11.500 familias
durante 25 años.

MENOS CONTAMINACIÓN

150 COLES

de la Comunidad
de Madrid

► La Comunidad de Madrid emitiría
2.600 toneladas menos de CO2
anualmente. Equivalente a:

= Retirar **910 coches** cada año.

= Plantar **82.500 árboles**.

= Que **1.300 familias** dejen
de usar gas natural.

Todos

los centros
de la región

► La Comunidad de Madrid emitiría
27.820 toneladas menos de CO2
anualmente. Equivalente a:

= Retirar **9.737 coches** cada año

= Plantar **882.750 árboles**.

= Que **13.910 familias** dejen
de usar gas natural.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la sociedad se encuentra en una situación de emergencia climática, un nuevo paradigma en el cual es preciso cambiar la relación que tienen la ciudadanía con la energía y como interactúa con ella.

Este cambio de sistema es conocido como transición energética. Esta transición conlleva un cambio en la visión pasiva actual frente al sector energético, hacia un rol activo donde la ciudadanía deberá ser clave protagonista en este cambio.

¿Porque instalar fotovoltaica?

- Por su triple impacto. Es una fuente de generación renovable, es decir, sostenible con el planeta. Es la tecnología actualmente más barata de instalación. Y tiene un gran poder social, ya que cualquier ciudadano puede instalar fotovoltaica en su vivienda, favoreciendo el empoderamiento y concienciación de esta. Además, fomenta un modelo descentralizado, potenciando a la generación cerca de la demanda y disminuyendo pérdidas y cargas en el sistema.

¿Porque el proyecto en centros educativos?

- Una de las claves de la transición energética pasa por que sea la ciudadanía la que la tome como propia, haciéndose protagonista de la acción. Las instalaciones sobre institutos o colegios no solo ayudan a reducir la factura de la luz de los centros y reducir su huella de carbono, si no que permite crear proyectos piloto cerca de las nuevas generaciones, esa ciudadanía que debe tomar la energía como parte crucial de su vida e interiorizarla como un bien básico.

¿Por qué montar una comunidad energética local en el instituto?

- Como se va a presentar en este proyecto, el perfil de demanda de los centros educativos tiene un gran potencial de aprovechamiento de la energía solar, su máxima demanda se centra en las horas del mediodía. Pero como es bien sabido, los fines de semana o los festivos (así como ciertos momentos de la tarde) el instituto no tiene consumo eléctrico (o muy bajo). Por ello, los centros educativos se presentan como grandes oportunidades para hacer proyectos piloto de comunidades energéticas, donde compartirán su generación con otros participantes. Como podrían ser, viviendas residenciales o comercios, aprovechando los periodos festivos o los fines de semana, o incluso otros edificios municipales, que tengan perfiles de demanda complementarios.

El presente proyecto busca estudiar cual es el potencial fotovoltaico en 150 centros educativos de la Comunidad de Madrid. Para ello se va a estudiar:

- Cuál es el potencial de generación de energía eléctrica con fotovoltaica. Conocer cuál es la capacidad de producción de los edificios.
- Estimar la demanda energética y entender su comportamiento a lo largo del año. Cuáles son las fortalezas y debilidades de estos perfiles.
- Obtener las instalaciones óptimas para cada uno de los centros educativos. Que necesitan los centros y que podrían ceder a la comunidad.

De esta forma se pretende responder a las siguientes preguntas:

- Que capacidad de generación renovable se puede tener en esta tipología de edificio público.
- Qué porcentaje de la demanda de estos edificios se cubrir con energía limpia.
- Cuanta energía y potencia se podría ceder a otros usos.
- Cual es el potencial a nivel agregado de la acción, en términos medioambientales económicos y sociales.

2. METODOLOGÍA

2.1. Evaluación del consumo

Para desarrollar el proyecto, se ha realizado una estimación de la demanda horaria de los centros. Para poder hacer esta estimación, se ha creado una curva sintética normalizada a partir de las curvas reales de demanda eléctrica de 2 centros. La información referente a estos centros se encuentra en la Tabla 1.

Calle	Localidad	Provincia	Área (m ²)	Año de construcción	Consumo anual (kWh/año)
JOSE ANTONIO 13	MANZANARES EL REAL	MADRID	4.751	1990	52.370
AV DE LA PEDRIZA 38	MANZANARES EL REAL	MADRID	1.536	1990	16.840

Tabla 1. Características de los centros cuyo consumo ha sido analizado.

En la Figura 1 se pueden consultar las curvas de carga de los 2 centros. Se pueden observar los periodos en los que el edificio se encuentra cerrado, como navidad, pascua y verano. Además, en los meses de verano se aprecia una clara reducción del uso del edificio que comparten todos los centros estudiados.

Cada una de las curvas ha sido normalizada por la superficie útil del centro al que pertenece, es decir, la demanda en cada una de las horas del año ha sido dividida por toda la superficie del instituto. De esta forma, se puede comparar y conocer si comparten tendencias en su comportamiento. Como se puede ver, los 2 centros estudiados presentan un comportamiento prácticamente idéntico, con pequeñas variaciones en cuanto a los picos de demanda. Se ha comparado las curvas con las de otros centros a nivel nacional y presentan un comportamiento similar, con diferencias en los periodos festivos.

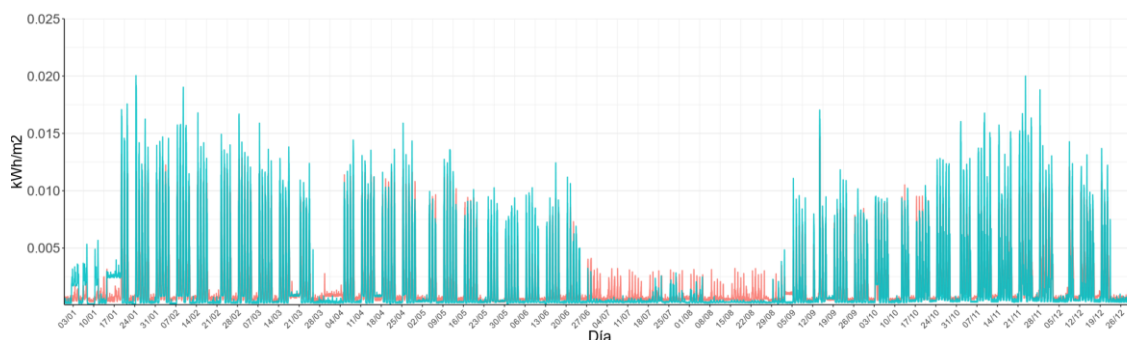


Figura 1. Curvas horarias de consumo a lo largo de un año de todos los centros considerados.

En base a estas curvas se ha generado la curva de la Figura 2 y 3, que representa la curva de consumo tipo. Esta curva representa el perfil de demanda horario por unidad de superficie construida que se ha utilizado para estimar la demanda de todos los centros estudiados. Para adecuar la curva a cada centro, se ha escalado la misma con la superficie total de cada uno de los centros.

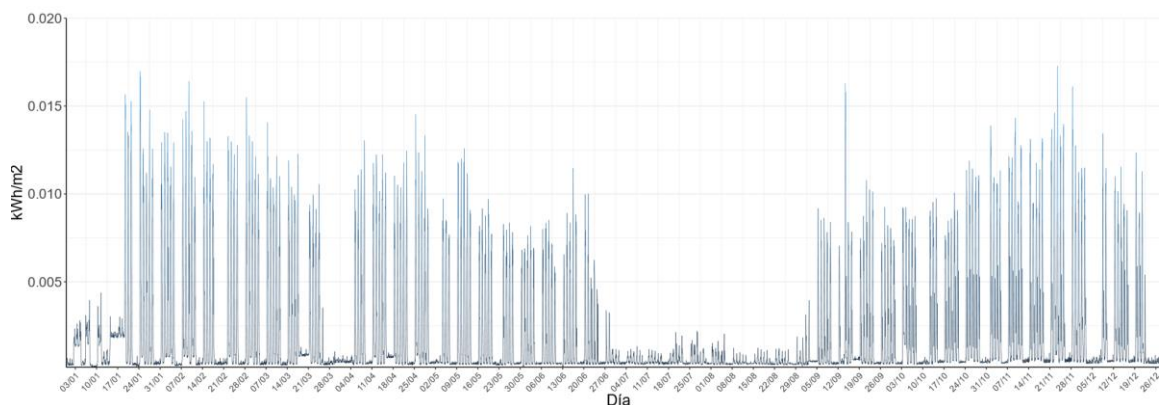


Figura 2. Curva de consumo tipo de los centros educativos de la Comunidad de Madrid para todo el año.

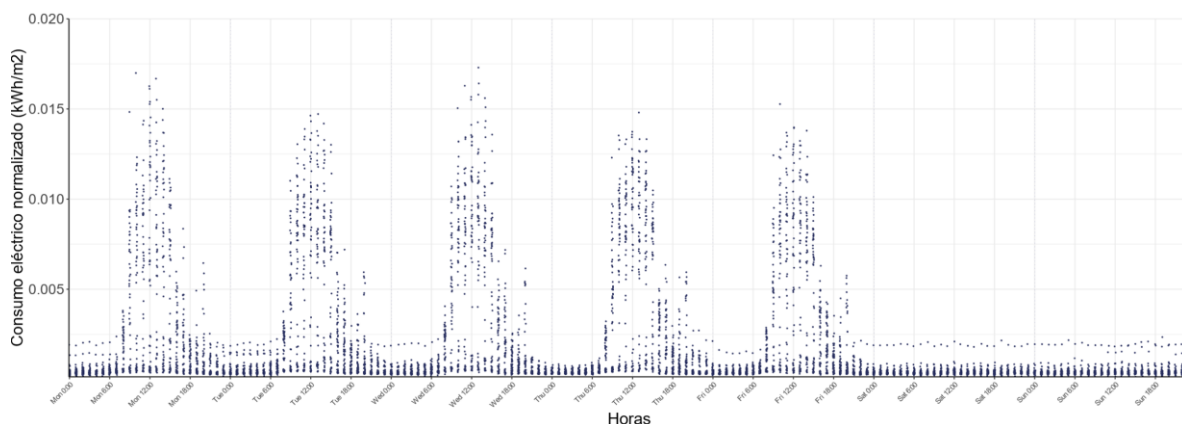


Figura 3. Curva semanal de consumo tipo de los centros educativos de la Comunidad de Madrid.

2.1.1. Análisis de datos de la curva de consumo

En este apartado se presenta un análisis más detallado en cuanto al consumo de la curva que se ha usado para las simulaciones y como se distribuye a lo largo del año y por periodos de facturación. La Figura 3 representa el consumo normalizado en todas las horas del año, organizadas por meses. Este gráfico representa de manera muy visual los consumos máximos que se presentan en cada mes, y permite hacerse una idea de su distribución, además de plantear visualmente a qué periodo de facturación pertenecen.

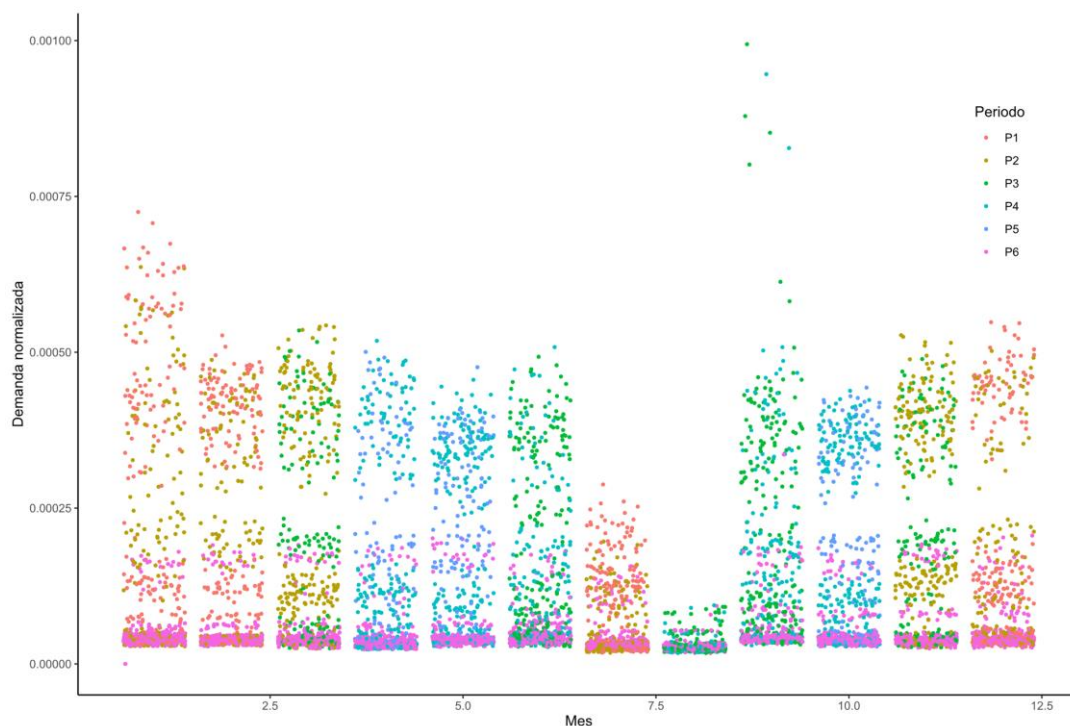


Figura 3. Representación del consumo normalizado para cada uno de los meses del año.

Haciendo un análisis similar, se presenta la Figura 4, donde se puede consultar el consumo normalizado para todas las horas del año, pero en representación de un día. De esta forma podemos conocer en qué momentos del día se agrupan los mayores consumos a lo largo del día y a qué periodos pertenecen.

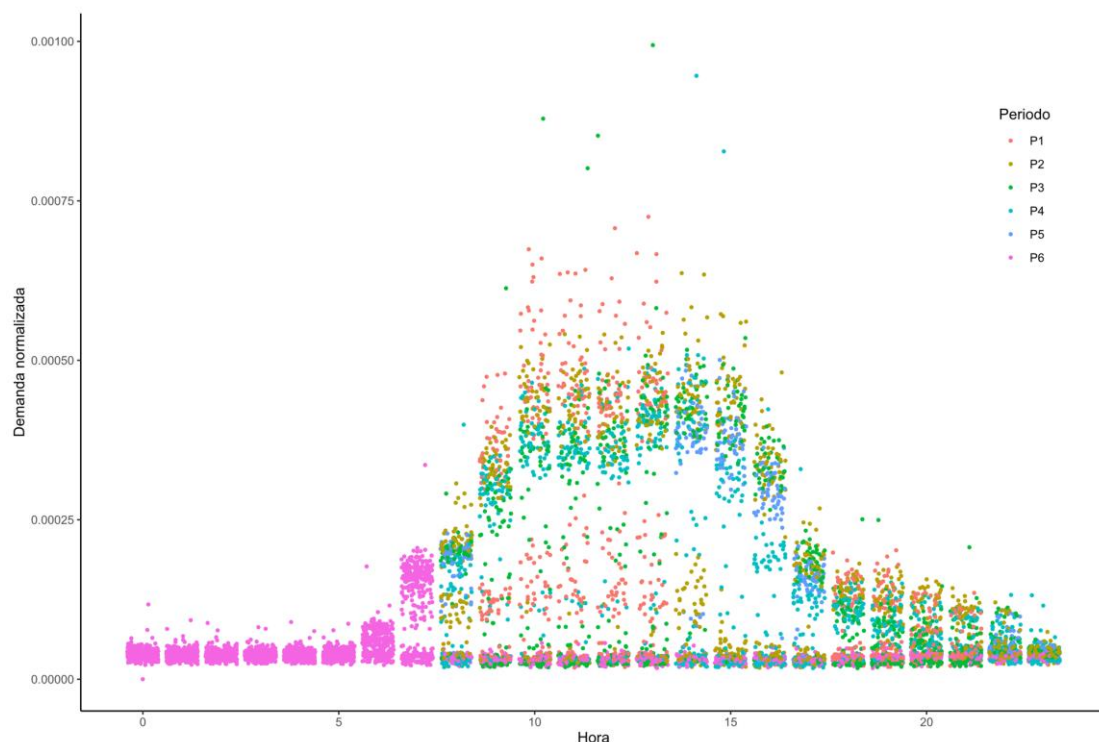


Figura 4. Representación de las demandas horarias normalizadas de todo el año agrupadas por periodos de facturación.

Lógicamente y como era de esperar, las mayores demandas se concentran en las horas comprendidas entre las 8 y las 16 del día, las horas lectivas del día. Esta información también queda reflejada en la Figura 5, donde se ha clasificado el consumo en periodos lectivos y no lectivos.

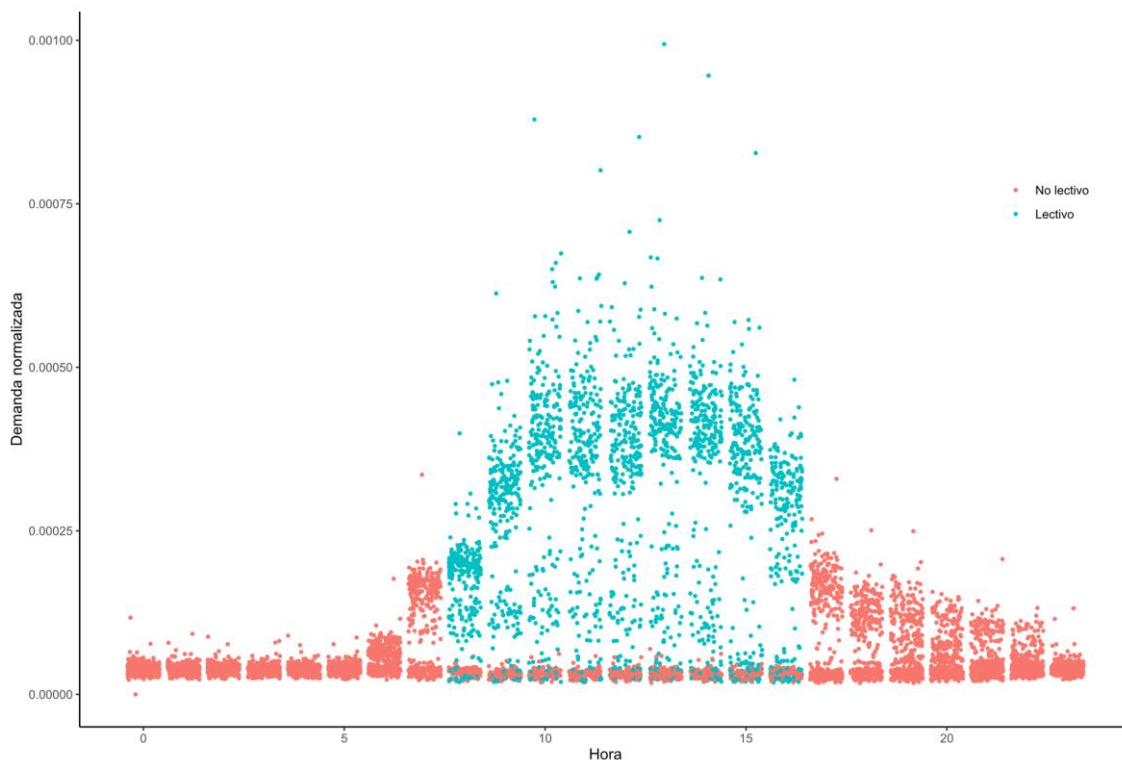


Figura 5. Representación de los consumos horarias normalizados de todo el año agrupadas por días lectivos y no lectivos.

Para finalizar el análisis sobre la curva de carga utilizada, se presentan las siguientes distribuciones que representan: La distribución del consumo en cada uno de los periodos de facturación (Figura 6 izqda.) y distribución del consumo por día de la semana (Figura 6 dcha.).



Figura 6. Reparto del consumo eléctrico de los colegios por periodos de facturación y día de la semana.

Y la distribución del consumo en los periodos lectivo y no lectivo y su distribución en horas. Es interesante conocer en estas gráficas que el 35% de la demanda se encuentra en periodos no lectivos, y que el periodo lectivo solo representa el 27% de las horas del año.



Figura 7. Reparto del consumo anual (verde) y el % de horas (naranja), que el colegio está cerrado y abierto.

2.2. Evaluación de la producción

El modelo de cálculo del potencial fotovoltaico tiene varias partes diferenciadas: Modelo 3D de la ciudad, dimensionamiento y producción. A continuación, se describe cada uno de los apartados en detalle.

Se parte de información geográfica para hacer el cálculo con la mayor precisión, teniendo en cuenta las geometrías y obstáculos de la zona urbana estudiada. Por un lado, se modela la instalación teniendo en cuenta los niveles máximos dada toda la superficie de cubierta disponible. Por otro lado, se evalúa la producción en base al consumo del edificio. Para lo cual se dimensiona la instalación óptima acorde al mismo.

2.2.1. Modelo 3D de la ciudad

El primer paso es la creación de un modelo 3D del área de estudio. Esto se consigue utilizando algoritmos propios de identificación, clasificación y análisis de información espacial a partir de datos espaciales de fuentes abiertas y mediante el cual obtenemos un gemelo digital que incluye tanto la geometría, como los posibles obstáculos propios de estos elementos (ascensor, equipos de climatización, barandillas, etc). Además de las construcciones y elementos asociados, se modela el arbolado y se incluye en el análisis por interacción en el estudio de viabilidad por potencial afección de las sombras proyectadas.

Como resultado de este módulo, se obtiene un modelo 3D del área de estudio.

2.2.2. Dimensionamiento

Una vez obtenido el gemelo digital, el siguiente paso es obtener las superficies interesantes para tener instalaciones fotovoltaicas y cuál es su diseño óptimo. Primero se obtienen las áreas de interés. El proceso se describe en la Figura 8.

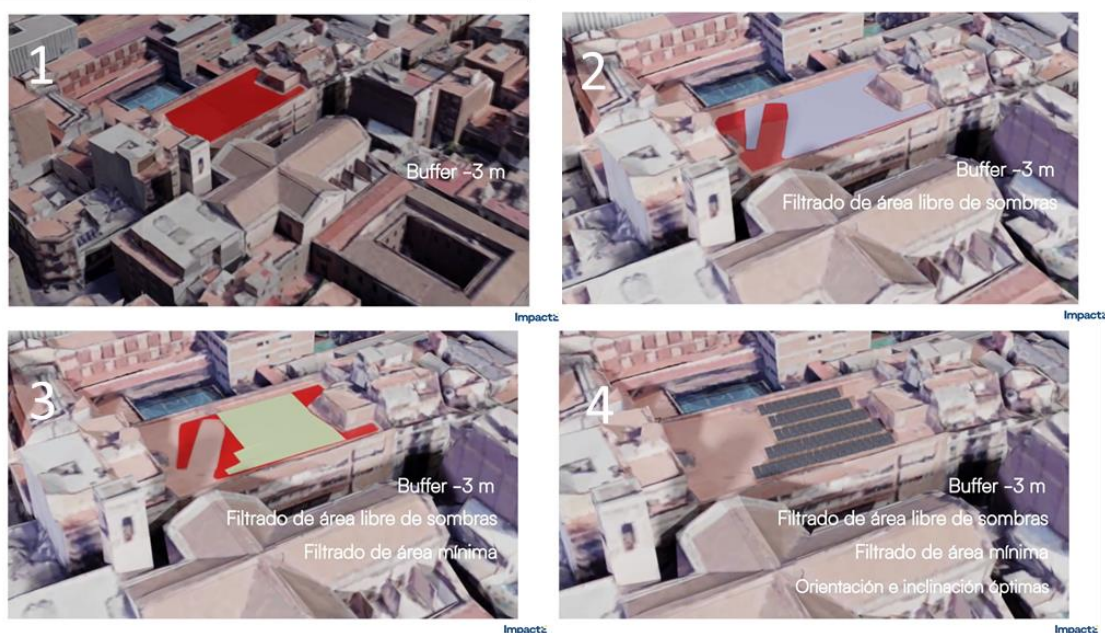


Figura 8. Proceso de cálculo de las instalaciones en las cubiertas.

- Seleccionar las superficies de interés que pueden tener instalaciones.
- Dejar una zona de seguridad con respecto al borde, para evitar tener que instalar líneas de vida y facilitar el mantenimiento.
- Proyectar las sombras de los obstáculos que ve la instalación (edificios colindantes, árboles, chimeneas etc).
- Regularizar el área obtenida, quitando las zonas conflictivas donde no cabrían paneles.

- E. Elegir el punto representativo de la superficie, en el cual se calcularán las sombras de la instalación.

Mediante este proceso, se obtienen los metros cuadrados útiles de cada superficie y el punto representativo del área. El proceso de cálculo puede consultarse de forma visual en el siguiente [vídeo](#).

2.2.3. Producción

En el modelo anterior se obtienen, los metros cuadrados útiles de superficie de cubierta y las sombras proyectadas sobre el punto representativo. En este módulo se obtiene tanto el número como la inclinación y orientación óptimas de los paneles sobre la superficie útil que maximiza la generación de energía de la instalación. Con ello además se obtiene la radiación incidente y finalmente su generación eléctrica anual hora a hora. Además, se obtiene la instalación óptima dado el consumo del propio edificio.

Conociendo la orientación e inclinación de la superficie estudiada, la distancia mínima que debemos dejar por seguridad entre paneles y el perfil de sombras, se obtienen las posibles distribuciones de los paneles sobre la misma. Para determinar la inclinación, número de paneles y orientación de los mismos se optimizan dichas variables para maximizar su generación de energía con algoritmos propios.

De esta forma, se obtienen los kWp máximos instalables, la curva de radiación que reciben los mismos en cada hora del año (kWh/m^2) y la densidad máxima de paneles sobre dicha superficie (kW/m^2). Finalmente, con la potencia obtenida, la curva de radiación y las características de diseño de la instalación, se obtiene la curva de generación eléctrica horaria máxima que podría generar la instalación diseñada.

Por otro lado, se obtiene la potencia óptima a partir del consumo. Esta potencia óptima corresponde con la que maximiza el autoconsumo de la instalación, pero no compromete la rentabilidad de la misma. Con dicha potencia se recalcula la instalación sobre la superficie útil, la curva de radiación que reciben los paneles en cada hora del año, la densidad de paneles sobre dicha superficie y la curva de generación eléctrica horaria de la instalación.

2.3. Evaluación de los impactos tecno-económicos

El modelo de casación evalúa la viabilidad y los impactos que generaría la instalación modelada. La casación es el proceso de repartición horario de la energía producida por la instalación, proceso del cual se obtiene la energía total autoconsumida y excedente que permite calcular los impactos potenciales de la instalación evaluada.

Este modelo está alimentado, por una parte, por las curvas de demanda explicadas en 2.1. Evaluación del consumo, y por otra las curvas de generación descritas en este mismo apartado. El modelo utiliza para la evaluación de los impactos de la instalación el resultado de la curva de producción de la instalación óptima y no la máxima calculada.

El modelo de casación evalúa hora a hora el autoconsumo y los excedentes de la instalación, almacenando esta información para calcular los ahorros y costes. El modelo hace una comprobación mensual (como indica el Real Decreto 244/2019) sobre la compensación, ya que no se puede compensar una cantidad de energía mayor que la consumida de red.

Con los términos energéticos de consumo vertido y compensación (hora a hora) y sabiendo el precio en cada hora, se calcula el coste de la factura eléctrica considerando la presencia de la instalación fotovoltaica modelada. El ahorro en la factura será pues, la diferencia entre la nueva factura y la anterior previa a la instalación. Se obtiene en este punto el ahorro total, la energía total autoconsumida, la cobertura renovable (porcentaje de la demanda cubierto por fotovoltaica), las emisiones evitadas y el periodo de retorno de la instalación.

2.4. Evaluación del impacto social

Para analizar el impacto social de las posibles instalaciones sobre los centros estudiados, se han obtenido dos variables adicionales. Por una parte, el número de personas que se encuentran a 500 y 2.000 metros alrededor del instituto, y de otra, el umbral de ingresos por unidad de consumo debajo del 60%. Este segundo indicador representa el porcentaje de la población (de la zona) que sus ingresos anuales están

por debajo del 60% de la mediana del territorio Fiscal Común (España menos Navarra y País Vasco). Datos proporcionados por la AEAT y obtenidos del INE (Instituto Nacional de Estadística).

2.5. Evaluación del impacto ambiental

Respecto al impacto ambiental, se han usado las siguientes conversiones.

- Para convertir las toneladas de CO₂ en años de coche, se ha usado que un km de coche emite 0.143 kg CO₂/km. Y se ha asumido que de media un coche recorre 20.000 km/año.
https://www.sunearthtools.com/es/tools/CO2-emissions-calculator.php#txtCO2_7
- Para la equivalencia en arboles plantados, se ha usado que un árbol consigue absorber anualmente 0.0315 t CO₂/árbol. <https://www.encon.be/en/calculation-co2-offsetting-trees>
- Y finalmente para el gas. Se considera el factor de emisiones del gas en 0.201 tCO₂/MWh, su densidad energética en 14,69 kWh/kg y que una familia hace un uso medio de 10.000 kWh al año de gas natural. https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/estudio_spahousec-ii_270619.pdf

3. RESULTADOS SOCIO-DEMOGRÁFICOS

3.1. Centros objeto del estudio

Se han estudiado los 150 centros de la Comunidad de Madrid. Que se encuentran distribuidos como muestran la Figura 9.

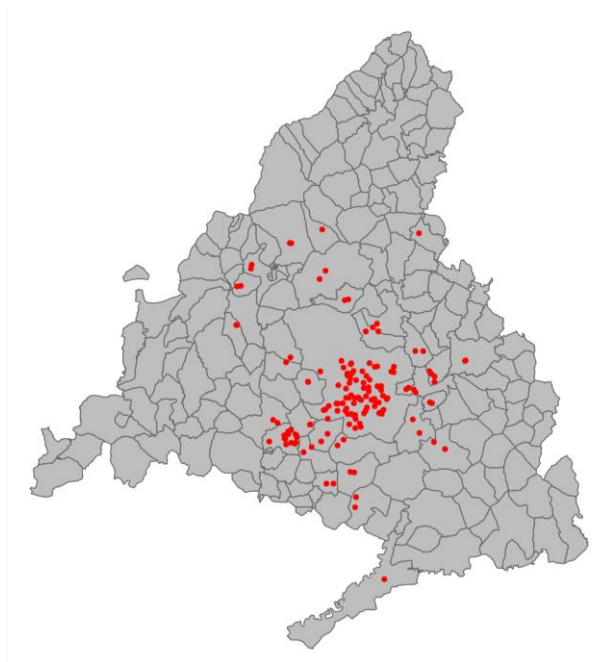


Figura 9. Distribución geográfica de los centros educativos objeto de estudio

3.1.1. Superficie construida

Todos estos centros presentan una superficie construida total de 824.209 metros cuadrados, repartidos en porcentaje en 46,9% en el municipio de Madrid, 14,8%, en el municipio de Móstoles y entre el 2-1% en el resto repartidos en los demás municipios.

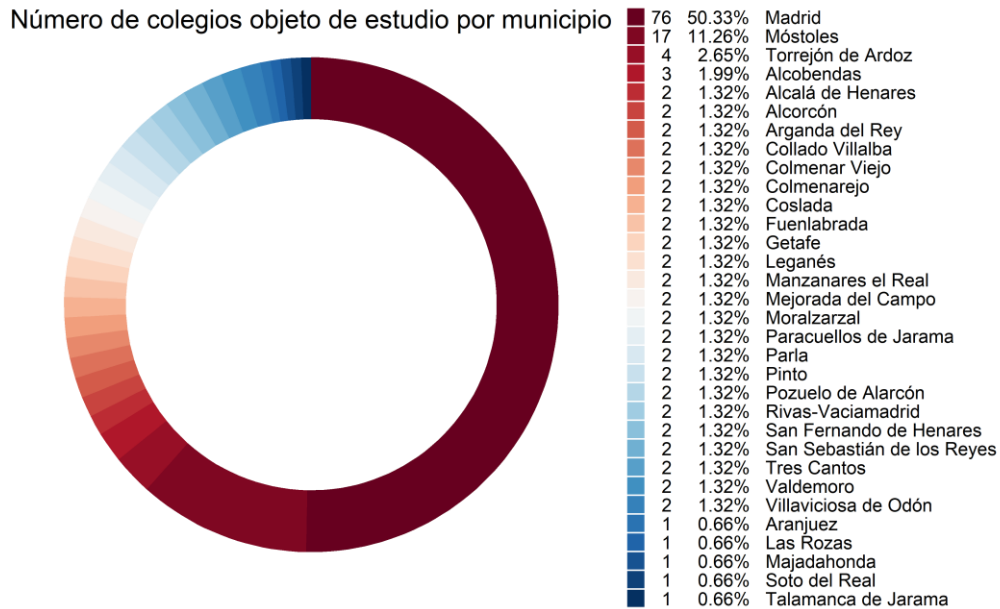


Figura 10. Número de centros objeto de estudio agregados por municipios o barrios de Madrid.

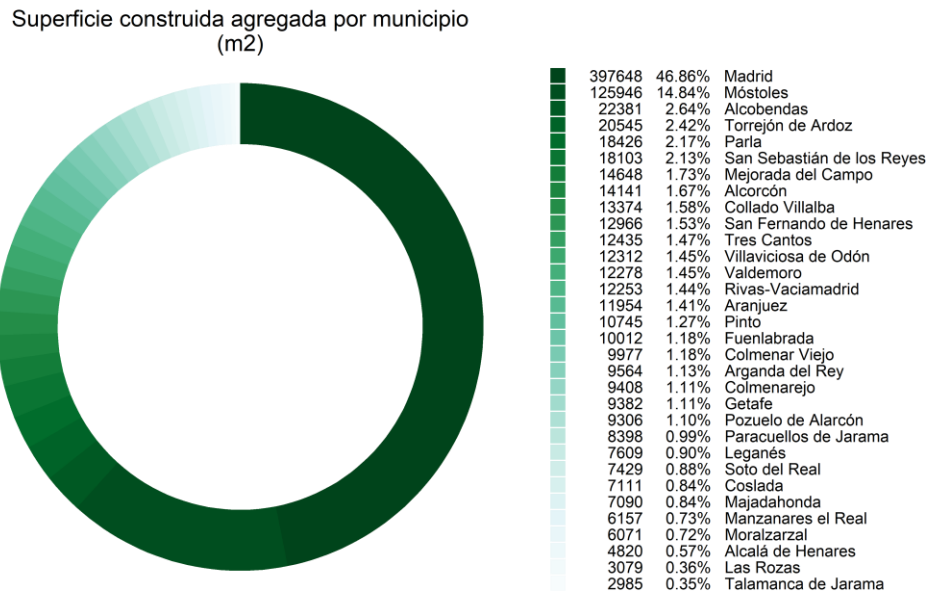


Figura 11. Superficies construidas y de cubierta de los centros objeto de estudio agregadas por municipios o barrios de Madrid.

4. RESULTADOS DE POTENCIAL TECNO-ECONÓMICO

Una vez explicado el proceso de cálculo del potencial fotovoltaico y como se ha obtenido la potencia instalada en cada instituto, se presentan los resultados del proyecto.

4.1. Datos de potencial técnico

En este apartado se incluyen los resultados agregados para todos los centros referentes al potencial técnico. Se presentan resultados de potencia instalable, energía generable, cobertura renovable y autoconsumo de las instalaciones evaluadas. Con toda la superficie útil de cubierta de los centros educativos seleccionados se podrían llegar a instalar 44,4 MWp de potencia, y haciendo la optimización para cada uno de los centros, se recomendaría instalar 12,6 MWp. Con lo que se podrían llegar a instalar 31,8 MWp que se podrían ceder a otros usos.

“Los 150 centros podrían llegar a instalar 44,4 MWp”

En la Figura 12 se muestran los datos de potencia instalable a nivel de municipios. El gráfico de distribución incluido en la Figura 12 muestra la relación entre potencia óptima y máxima.

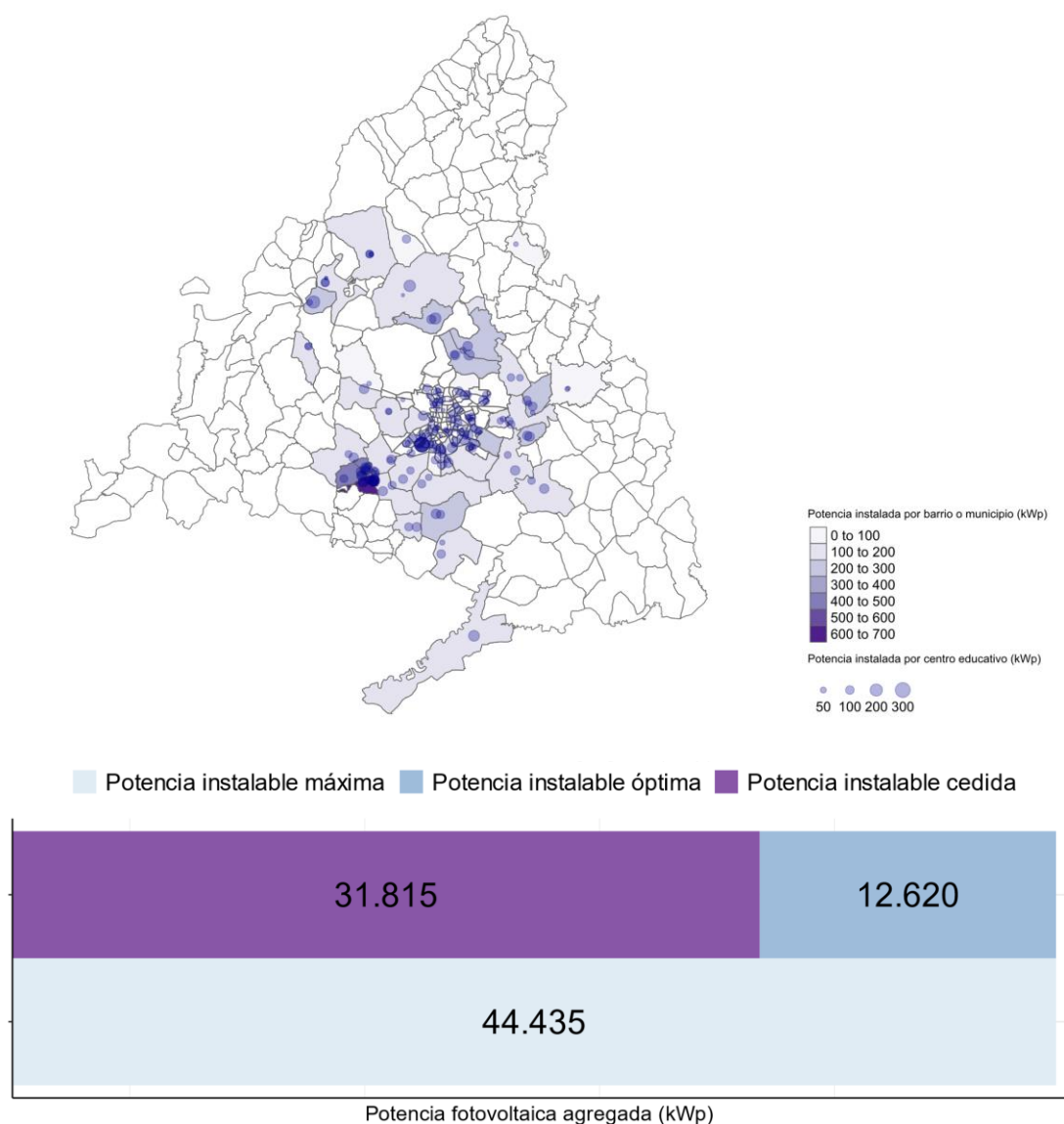


Figura 12. Distribución geográfica de la potencia fotovoltaica instalada óptima de los centros.

4.1.1. Energía fotovoltaica generada

Los principales resultados agregados para todos los centros relativos a la generación eléctrica, obtenida del dimensionamiento óptimo de cada instalación, son los siguientes:

“La instalación de paneles fotovoltaicos en todos los centros permitiría conseguir un tasa de cobertura renovable media del 57,4 %”

- La generación fotovoltaica de todas las instalaciones de todos los centros supondría una producción eléctrica anual de 16,3 GWh/año.
- La energía exportada a red por todas las instalaciones supondría 10,5 GWh/año y supondría en promedio un 64,6% de la producción total.
- La energía autoconsumida por todos los centros supondría 5,8 GWh/año y supondría en promedio un 35,4% de la producción total.

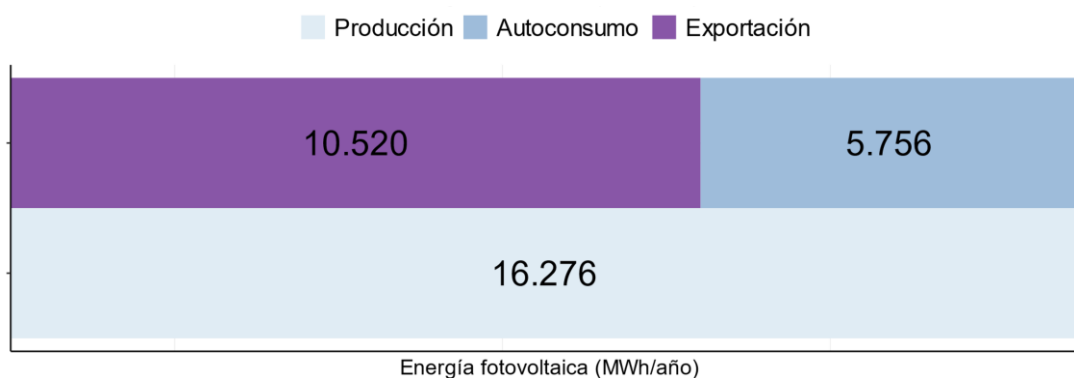


Figura 13. Distribución de la generación fotovoltaica.

A lo largo de un día se genera en promedio de 3,6 kWh por cada kWp de paneles instalados, lo que supone una producción al mes de 11,1 kWh/kWp y al año de 1.335 kWh/kWp. Este último valor sería equivalente al consumo eléctrico anual de una familia en situación de vulnerabilidad energética.



Figura 14. Detalle del impacto de generación con diferentes escalas de tiempo.

Atendiendo a una escala mensual, se muestra en la Figura 15 la generación del conjunto de centros. Se aprecia un incremento de la producción en el periodo estival coincidiendo con mayor número de horas de luz solar. Asimismo, cabe señalar una reducción de la energía autoconsumida en los meses en los que no hay actividad en los centros (especialmente durante las vacaciones de verano), por lo que la mayor parte de la energía producida durante dichos meses se vertería a la red.

La notable diferencia entre producción y demanda acumulada mes a mes, se debe en gran medida a que existe consumo eléctrico durante las primeras horas del día en las que la radiación solar no es tan significativa como en las horas centrales.

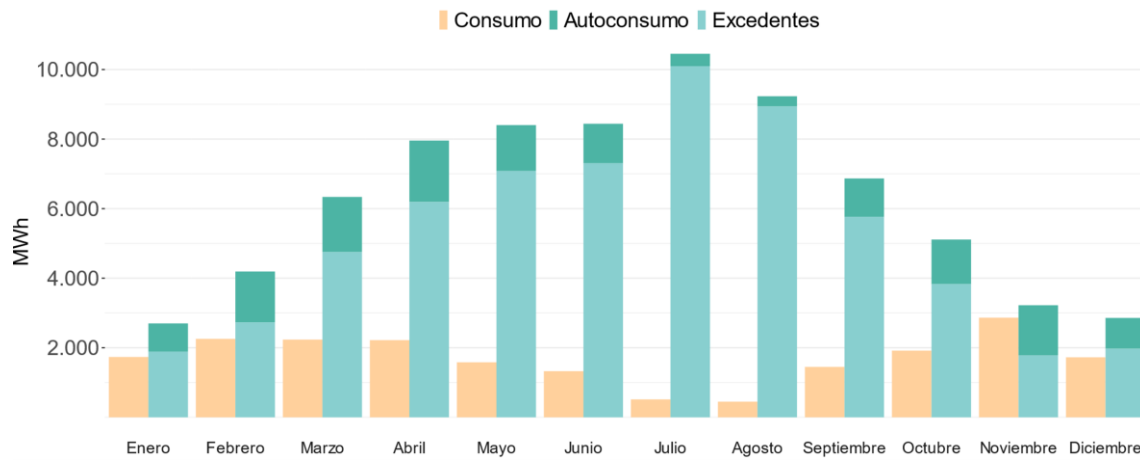


Figura 15. Distribución mensual de la producción fotovoltaica, autoconsumo y exportación.

4.1.2. Cobertura renovable total y porcentaje de autoconsumo

A continuación, se describen y presentan dos indicadores clave para entender el potencial aporte de la energía solar fotovoltaica sobre los centros. Estos resultados son usando las potencias óptimas instalables. Primero, la cobertura renovable se entiende como la relación entre la energía que se autoconsume y la demanda total. Este indicador permite conocer que porcentaje de la demanda eléctrica del instituto estamos cubriendo con fotovoltaica. Por otra parte, el porcentaje de autoconsumo refleja que cantidad de la energía producida por la instalación es finalmente consumida por el instituto.

Se concluye que para las instalaciones óptimas, se llega a cubrir sobre el 57,4 % del consumo del centro, y estas instalaciones de media consiguen porcentajes de autoconsumo del 36,0 %. Esto ocurre debido a que la exportación es mucho menos rentable que el autoconsumo, y las instalaciones óptimas buscan reducir esta exportación (o maximizar el porcentaje de autoconsumo).

4.2. Datos Potencial económico

4.2.1. Ahorro económico anual

Con las instalaciones optimizadas se podría conseguir un ahorro potencial de 1,67 millones de euros en todos los colegios.

“Las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo en los centros permitirían unos ahorros anuales de 1,67 millones de Euros”

En la Figura 16 se muestra el ahorro económico que supondría el autoconsumo y la compensación de excedentes en el término de energía de la factura de la luz agregado a nivel municipal. Se aprecia, con los perfiles de consumo característicos de los centros educativos que el mecanismo de compensación de excedentes vertidos a red supondría en torno al 12,4%, mientras que el autoconsumo supondría el 87,6% restante.

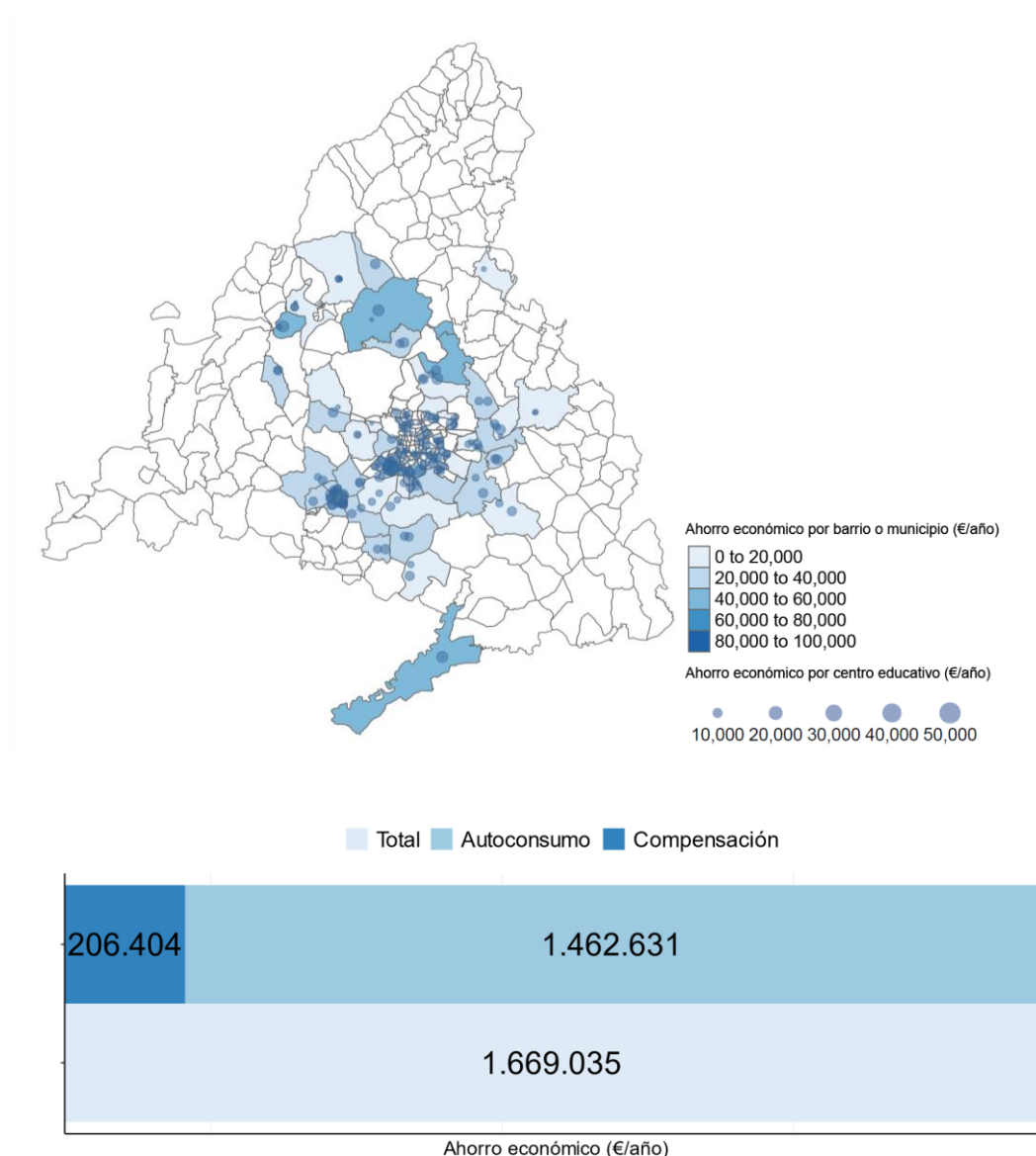


Figura 16. Distribución por localidades del ahorro económico que supondría la implementación de instalaciones de autoconsumo en los centros.

4.2.2. Inversión económica

Para conseguir los anteriores ahorros con las instalaciones, sería preciso una inversión total de 12,8 millones de euros. Que se amortizaría de media en menos de 7,9 años.

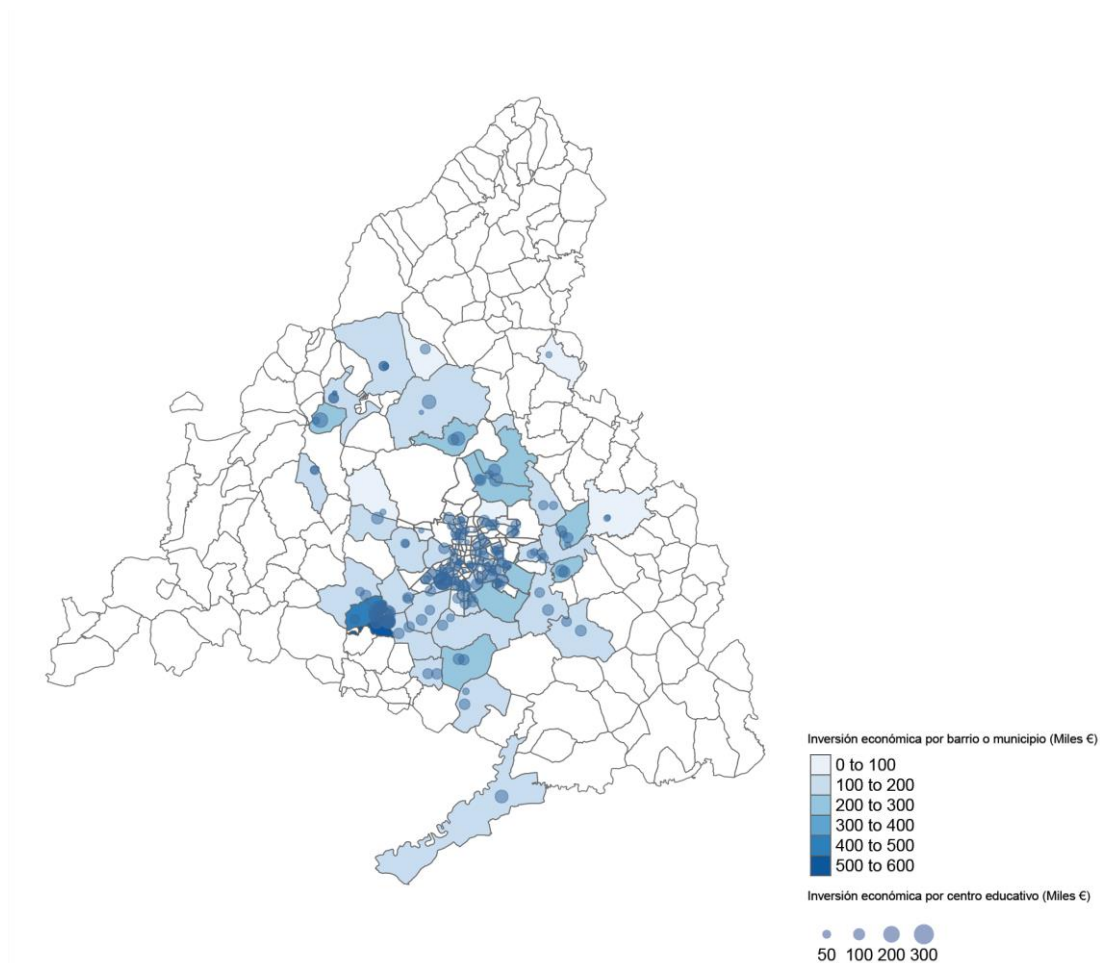


Figura 17. Distribución por localidades de la inversión económica que supondría la implementación de instalaciones de autoconsumo en los centros.

5. RESULTADOS DE IMPACTO AMBIENTAL

En cuanto al beneficio ecológico y considerando las potencias óptimas instalables, la CM emitiría 2.592 toneladas menos de CO₂ al año, es decir, el equivalente a:

- Las emisiones que generan 920 coches en un año.
- La cantidad de CO₂ que pueden absorber 83.420 árboles.
- 890 toneladas de gas natural, el equivalente al que usan 1.300 familias cada año.

"En cuanto al beneficio ecológico, la CM dejaría de emitir el gas natural que usan 1.300 familias cada año"

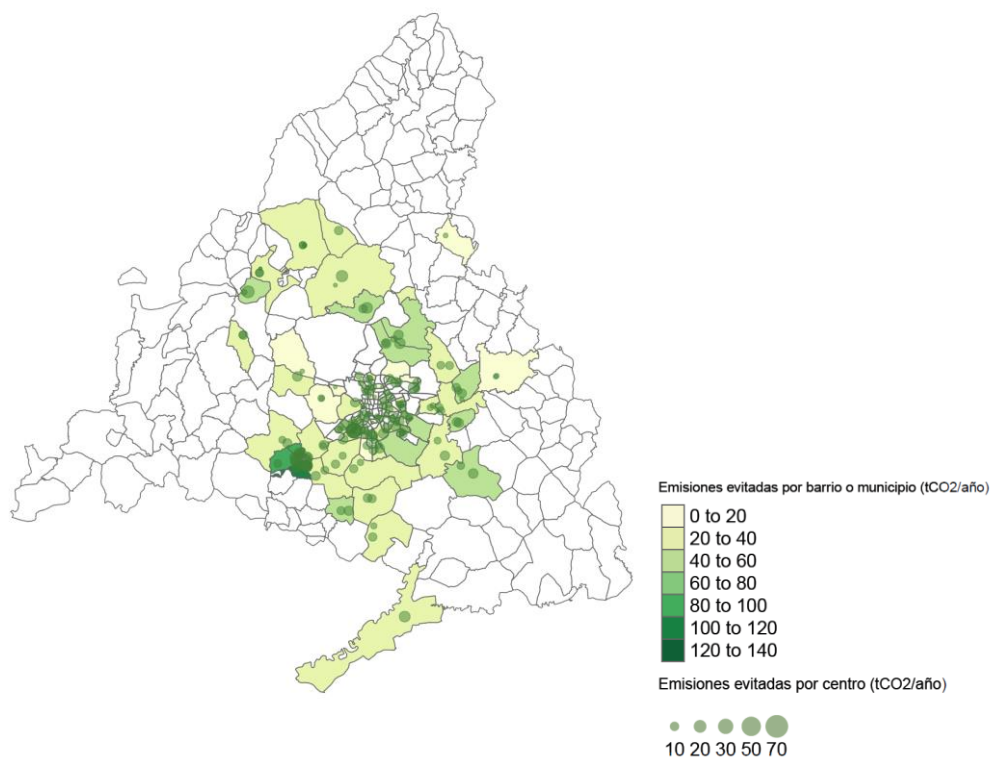


Figura 18. Emisiones evitadas por municipio y centro educativo.

6. RESULTADOS DE POTENCIAL SOCIAL

Finalmente y para poder estimar el impacto que tendrían estas instalaciones a nivel social, se han obtenido dos indicadores adicionales. Los resultados mostrados en el presente apartado son relativos a las potencias óptimas.

Por una parte, se ha obtenido el número de personas que se encuentran a 500 metros y 2 km a la redonda de cada instalación. El otro indicador representa el porcentaje de la población que su renta está por debajo del 60% de la renta mediana del país.

En la Figura 19 se muestra sombreado cada municipio o barrio de Madrid en mayor o menor intensidad en función del porcentaje población por debajo del umbral del 60% de la renta mediana y se indica la población total que alcanzaría cada centro educativo en un radio de 2 km. De estos datos, se puede observar que, de los centros elegidos, hay una mayor tasa de población con una renta inferior al 60% de la media nacional, en la capital comparado con los municipios periféricos.

Con el límite de 500 m para formar comunidades energéticas, se podría beneficiar de los excedentes generados un promedio de 15.620 de habitantes por centro, de los cuales 2.770 de estos tendrían una renta por debajo del 60% de la renta mediana del país.

El impacto social se vería significativamente acrecentado si el radio de acción de cada centro alcanzase los 2 km. En este escenario un promedio 159.900 habitantes por centro podrían aprovechar los excedentes y 29.670 de ellos se encontrarían con rentas por debajo del 60% de la renta mediana del país.

Gracias a estos indicadores, es posible priorizar las instalaciones que conseguirían llegar a más personas y que estas pertenezcan a colectivos con rentas bajas.

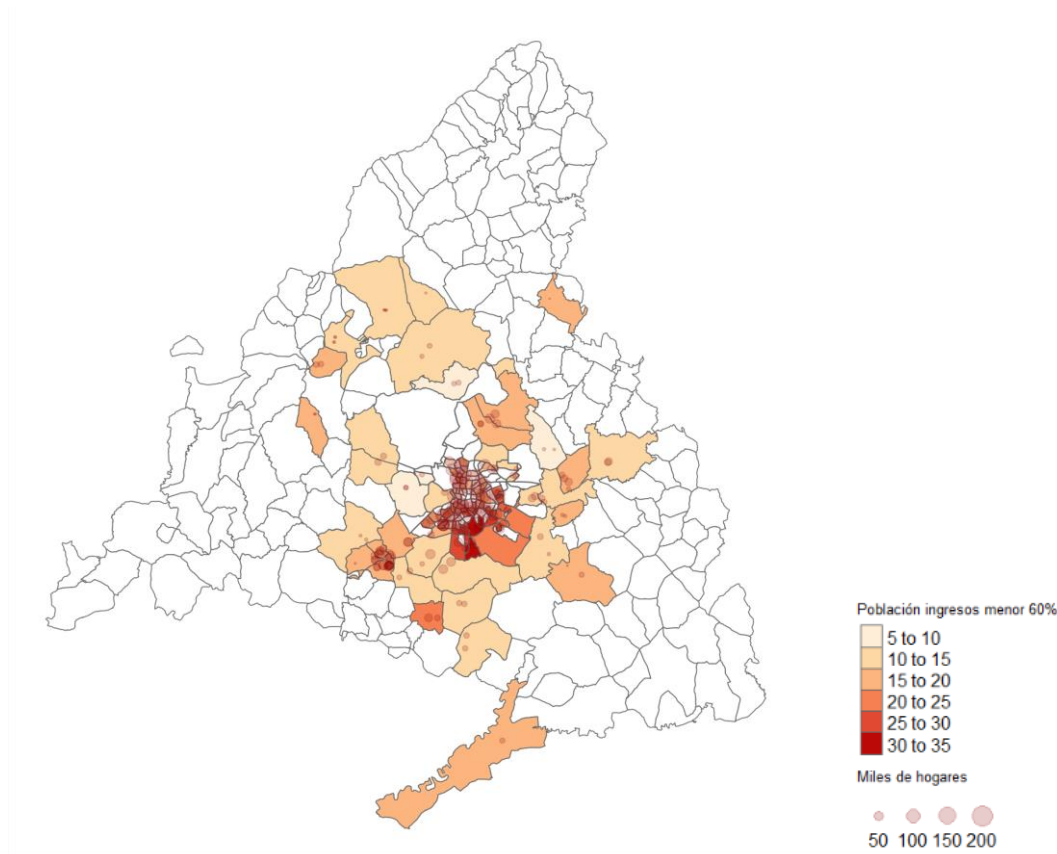


Figura 19. Número de personas a las que se podría llegar con las comunidades energéticas y distribución del indicador de renta.

7. PRIORIZACIÓN

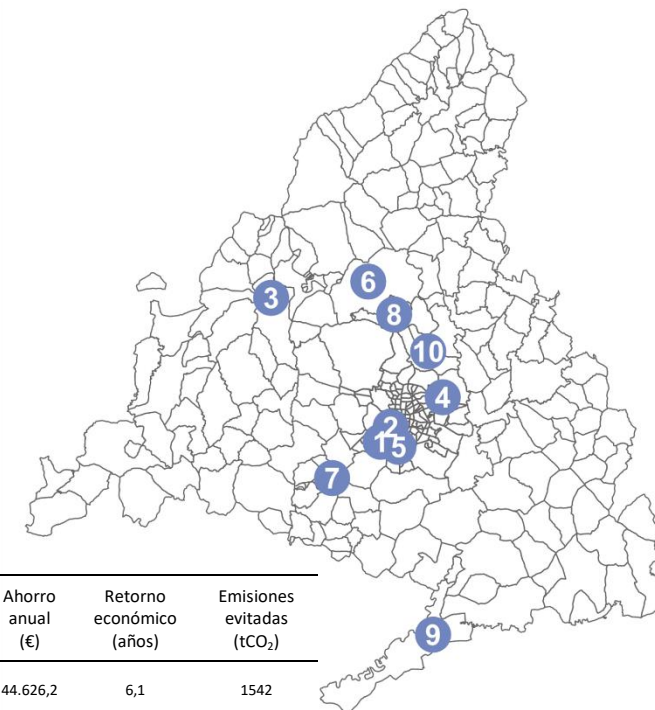
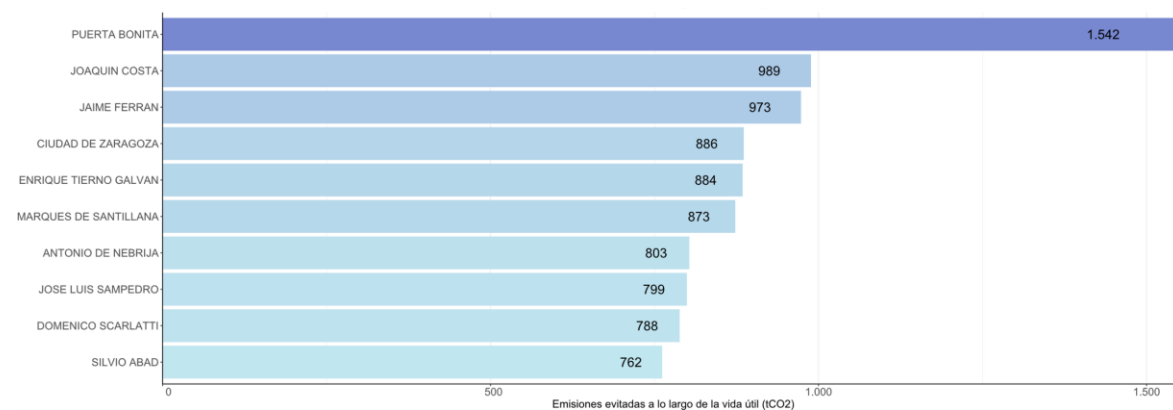
El presente apartado tiene como objetivo facilitar la toma de decisiones teniendo en cuenta el triple impacto (ambiental, económico y social) de las potenciales instalaciones. Para conseguirlo se presenta dentro de cada potencial impacto de priorización un ranquin de los centros educativos asociados a los principales indicadores. Los principales indicadores seleccionados para priorizar cada uno de los impactos se describen a continuación:

- Impacto ambiental: ahorro de emisiones anual.
- Impacto económico: periodo de retorno de la inversión.
- Impacto social: umbral riqueza por debajo 60%.

Se han realizado dos filtrados y ranqueados compuestos, que buscan proporcionar 2 propuestas de:

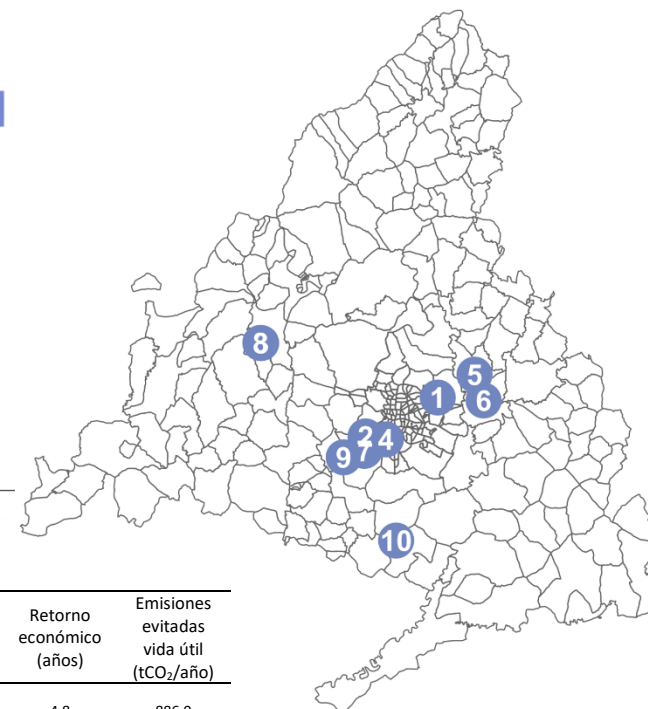
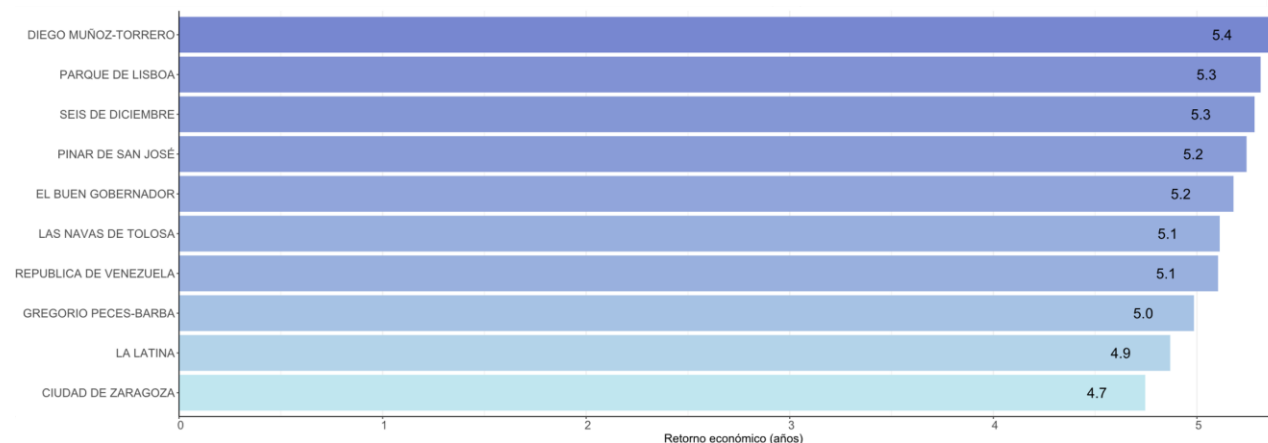
- Mejor instalación para autoconsumo. Con el siguiente filtrado:
 - Mayores potencias óptimas.
 - Menores valores de vertido a red.
 - Umbrales de pobreza más altos.
- Mejor instalación con impacto social. Con el siguiente filtrado:
 - Centros donde se puede instalar más de 100 kW.
 - Umbrales de pobreza más altos.
 - Mayores cantidad de personas en las inmediaciones.
 - Menores potencias óptimas para el centro.

• Ranking por emisiones evitadas a lo largo de la vida útil.



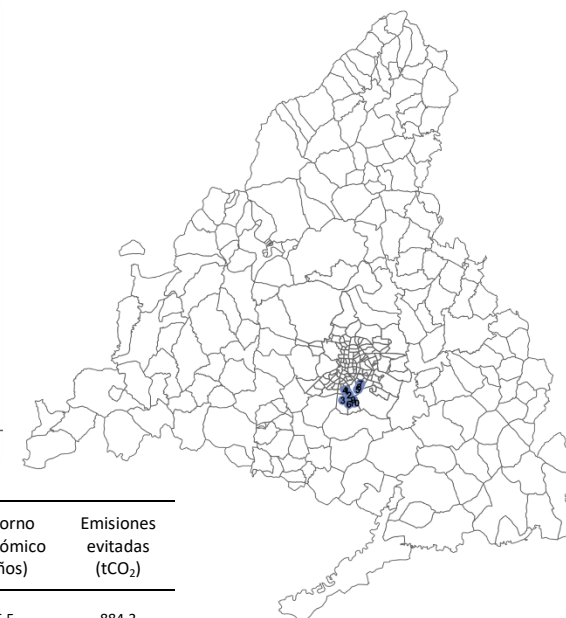
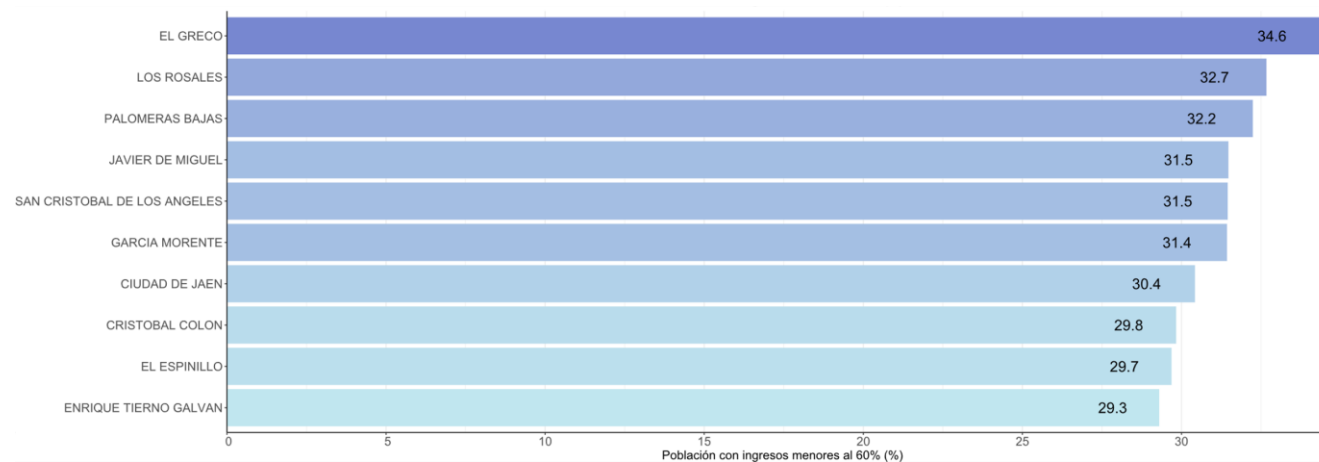
	Código	Centro	Localidad	Demanda anual (MWh)	Potencia óptima (kWp)	Producción anual (MWh)	Autoconsumo (%)	Cobertura renovable (%)	Inversión (€)	Ahorro anual (€)	Retorno económico (años)	Emisiones evitadas (tCO ₂)
1	102	PUERTA BONITA	Madrid	285,3	291,7	387,2	39,5	53,6	273.733,9	44.626,2	6,1	1542
2	73	JOAQUIN COSTA	Madrid	124,7	197,0	248,3	32,2	64,1	198.263,1	22.694,9	8,7	989
3	11	JAIME FERRAN	Collado Villalba	124,7	202,0	244,4	31,9	62,6	189.421,8	22.137,2	8,6	973
4	144	CIUDAD DE ZARAGOZA	Madrid	132,7	120,1	222,5	33,9	56,8	108.108	22.777,9	4,8	886
5	108	ENRIQUE TIERNO GALVAN	Madrid	156,9	177,1	222,1	38,5	54,5	159.354	24.381,6	6,5	884
6	13	MARQUES DE SANTILLANA	Colmenar Viejo	126,1	177,8	219,3	34,7	60,3	167.560,8	21.637	7,7	873
7	26	ANTONIO DE NEBRIJA	Móstoles	73,5	176,3	201,7	24,8	68	165.889,9	14.202,4	11,7	803
8	64	JOSE LUIS SAMPEDRO	Tres Cantos	94,2	169,7	200,8	28,6	61	163.751,4	16.824,2	9,7	799
9	69	DOMENICO SCARLATTI	Aranjuez	132,0	157,2	198,0	37,4	56,2	147.719,9	21.115	7	788
10	56	SILVIO ABAD	San Sebastián de los Reyes	115,2	141,6	191,3	37,4	62,1	153.349,1	20.439,5	7,5	762

• Ranking de mínimo periodo de retorno.



	Código	Centro	Localidad	Demanda anual (MWh)	Potencia óptima (kWp)	Producción anual (MWh)	Autoconsumo (%)	Cobertura renovable (%)	Inversión (€)	Ahorro anual (€)	Retorno económico (años)	Emisiones evitadas vida útil (tCO ₂ /año)
1	144	CIUDAD DE ZARAGOZA	Madrid	132,7	120,1	222,5	33,9	56,8	108.108,0	22.777,9	4,8	886,0
2	99	LA LATINA	Madrid	125,0	108,4	186,7	36,2	54,1	100.268,4	20.593,7	4,9	743,5
3	149	GREGORIO PECES-BARBA	Colmenarejo	90,3	74,1	134,1	36,4	54,0	73.978,3	14.838,5	5,0	533,8
4	109	REPUBLICA DE VENEZUELA	Madrid	94,5	81,5	143,9	35,8	54,6	80.081,8	15.690,4	5,1	573,0
5	44	LAS NAVAS DE TOLOSA	Paracuellos de Jarama	74,5	60,8	110,1	36,5	53,9	62.468,8	12.220,0	5,1	438,2
6	59	EL BUEN GOBERNADOR	Torrejón de Ardoz	58,0	46,4	86,0	36,4	54,0	49.325,5	9.522,9	5,2	342,3
7	151	PINAR DE SAN JOSÉ	Madrid	123,0	89,3	162,9	38,6	51,2	100.772,4	1.9217,3	5,2	648,5
8	150	SEIS DE DICIEMBRE	Colmenarejo	59,4	49,1	88,9	36,2	54,2	51.747,9	9.794,7	5,3	354,0
9	7	PARQUE DE LISBOA	Alcorcón	79,7	44,5	60,8	50,2	38,3	47.562,7	8.952,5	5,3	241,9
10	65	DIEGO MUÑOZ-TORRERO	Valdemoro	45,0	36,3	66,7	36,4	53,9	39.862,0	7.390,8	5,4	265,4

- Ranking por umbral 60% de la riqueza.

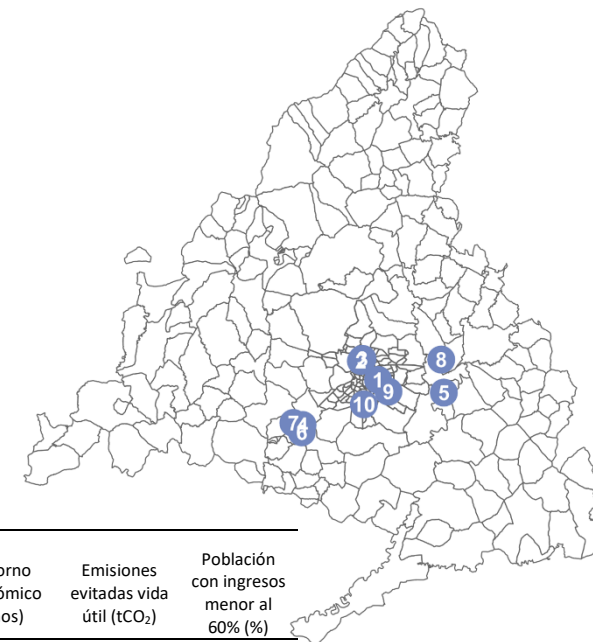


	Código	Centro	Localidad	Demanda anual (MWh)	Potencia óptima (kWp)	Producción anual (MWh)	Autoconsumo (%)	Cobertura renovable (%)	Inversión (€)	Ahorro anual (€)	Retorno económico (años)	Emisiones evitadas (tCO ₂)
1	108	ENRIQUE TIERNO GALVAN	Madrid	156,9	177,1	222,1	38,5	54,5	159.354,0	24.381,6	6,5	884,3
2	128	EL ESPINILLO	Madrid	89,1	89,3	112,5	40,7	51,3	86.294,5	13.079,1	6,6	447,8
3	126	CRISTOBAL COLON	Madrid	55,9	84,2	104,3	33,2	62,0	93.605,6	9.930,8	9,4	415,3
4	107	CIUDAD DE JAEN	Madrid	29,2	43,7	52,7	32,4	58,4	46.849,9	4.872,8	9,6	209,9
5	111	GARCIA MORENTE	Madrid	134,9	130,7	174,1	41,1	53,1	117.585,0	2.1073,3	5,6	693,2
6	125	SAN CRISTOBAL DE LOS ANGELES	Madrid	86,8	120,1	150,0	34,7	60,0	108.108,0	14.833,1	7,3	597,3
7	113	JAVIER DE MIGUEL	Madrid	65,9	112,3	137,3	30,9	64,3	128.676,9	12.452,0	10,3	546,8
8	110	PALOMERAS BAJAS	Madrid	33,0	35,1	44,2	39,6	53,0	38.744,0	5.105,8	7,6	175,9
9	127	LOS ROSALES	Madrid	57,7	63,6	85,3	39,0	57,7	70.521,6	9.534,6	7,4	339,7
10	129	EL GRECO	Madrid	80,5	120,1	151,3	33,1	62,2	108.108,0	14.191,8	7,6	602,6

- Propuesta mejores instalaciones para autoconsumo.

Para obtener estas instalaciones, se ha realizado el siguiente filtrado.

- Se ha filtrado por potencia óptima a instalar, recogiendo solo el 40% de los casos.
- Se ha filtrado por mínima exportación, recogiendo el 40% de los casos (después del filtro anterior).
- Se han seleccionado los 10 casos con mayores umbrales de pobreza.

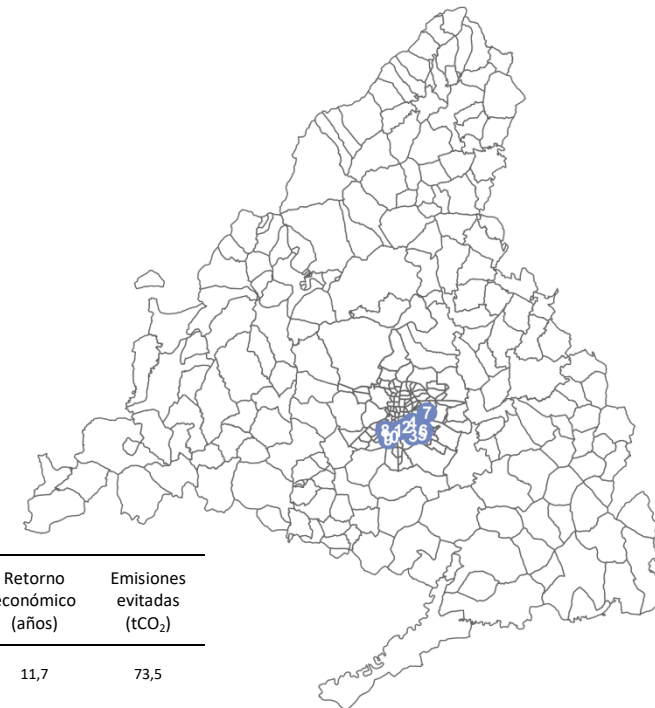


	Código	Centro	Localidad	Demanda anual (MWh)	Potencia óptima (kWp)	Producción anual (MWh)	Autoconsumo (%)	Cobertura renovable (%)	Inversión (€)	Ahorro anual (€)	Retorno económico (años)	Emisiones evitadas vida útil (tCO ₂)	Población con ingresos menor al 60% (%)
1	118	SAN JUAN BOSCO	Madrid	64,2	91,7	115,5	34	61,1	96.881,8	11.433,1	8,5	459,9	16,4
2	87	JAIME VERA	Madrid	58,4	94	117,4	32	64,4	107.700,8	10.738,6	10	467,2	16,9
3	84	JOSE ORTEGA Y GASSET	Madrid	90,3	111,9	140,2	36,8	57,1	102.629,9	14.964	6,9	558,4	17,2
4	31	EUROPA	Móstoles	75,9	104,1	140,6	32,7	60,6	103.125,4	13.621,9	7,6	559,7	18,1
5	23	LOS OLIVOS	Mejorada del Campo	99,5	120,1	141,3	39,6	56,2	108.108	15.794,6	6,8	562,4	19,2
6	30	EL CAÑAVERAL	Móstoles	49,4	112,3	122,4	27	66,9	109.995	9.463,5	11,6	487,2	19,3
7	41	RAYUELA	Móstoles	107,3	131	146,8	36,3	49,6	117.936	15.150,9	7,8	584,4	19,4
8	60	EL BUEN GOBERNADOR	Torrejón de Ardoz	74	100,2	124	35,2	59	105.433,3	12.478,5	8,5	493,7	20,8
9	137	LOS ALMENDROS	Madrid	67	99,8	122	33,7	61,2	105.077	11617,1	9,1	485,6	23

- Propuesta mejores instalaciones para impacto social.

Para obtener estas instalaciones, se ha realizado el siguiente filtrado.

- Se han seleccionado los centros donde se puede instalar 100 o más kWp.
- Se ha filtrado por mayores umbrales de pobreza, recogiendo solo el 30% de los casos.
- Se ha filtrado por máximo número de personas, recogiendo el 30% de los casos (después del filtro anterior).
- Se han seleccionado los 10 casos con mayores potencias a ceder.



	Código	Centro	Localidad	Demanda anual (MWh)	Potencia óptima (kWp)	Producción anual (MWh)	Autoconsumo (%)	Cobertura renovable (%)	Inversión (€)	Ahorro anual (€)	Retorno económico (años)	Emisiones evitadas (tCO ₂)
1	75	MIGUEL DE UNAMUNO	Madrid	7,6	14,8	18,5	28,5	69,3	17.500,2	1.490,2	11,7	73,5
2	78	JOSE CALVO SOTELO	Madrid	64,4	73,7	96,1	38,2	57,0	89.973,1	11.022,6	8,2	382,5
3	113	JAVIER DE MIGUEL	Madrid	65,9	112,3	137,3	30,9	64,3	128.676,9	12.452,0	10,3	546,8
4	117	FRANCISCO DE LUIS	Madrid	50,7	52,7	70,1	39,4	54,6	54.983,5	8.165,9	6,7	279,1
5	112	LA RIOJA	Madrid	91,7	139,6	170,8	33,2	61,9	15.2744,9	16.427,5	9,3	680,2
6	115	FONTARRON	Madrid	55,2	56,9	71,3	39,7	51,2	60.491,2	9.373,4	6,5	283,8
7	141	REPUBLICA DE CHILE	Madrid	51,0	73,3	95,6	34,2	64,1	77.932,8	9.626,8	8,1	380,6
8	100	LOPE DE VEGA	Madrid	56,0	53,4	67,5	40,1	48,3	55.708,8	7.973,6	7,0	268,8
9	104	PRADOLONGO	Madrid	52,9	63,6	81,0	37,2	57,0	70.915,8	8.708,7	8,1	322,6

8. CONCLUSIONES

El proyecto quería dar respuesta a cuál es el potencial de generación renovable en los centros educativos seleccionados, y así empezar en los primeros pasos hacia la creación de comunidades energéticas locales con la instalación en los mismos.

Para ello se ha hecho un estudio de la demanda de los centros, conociendo que el 66% de la demanda se concentra en las horas lectivas y que estas horas representan un 27% de las totales del año.

A continuación, se ha calculado la potencia que se podría llegar a instalar en estos centros, que llega a la suma de 44,4 MW. Seguidamente se ha realizado un estudio de la instalación óptima para cada centro, suponiendo una potencia agregada total de 12,6 MW.

Con esta potencia, se podrían generar 16,3 GWh al año, y se cubriría en autoconsumo el 35,4% de la demanda de los centros educativos. Esta generación conseguiría un ahorro de 1,7 millones de euros, y dejando de emitir 2.592 toneladas de CO₂ al año. La inversión agregada para desplegar estas instalaciones supondría un coste de 12,8 millones de euros.

Si consideramos la muestra de centros educativos seleccionados como representativa del total de la Comunidad de Madrid, y extrapolando los resultados agregados obtenidos de los 150 centros educativos para todos los centros educativos, que son un total de 1.605; se puede estimar aproximadamente que se podrían alcanzar 475 MW de potencia máxima instalable agregada y una potencia óptima agregada de 135 MW. Con las anteriores estimaciones sería posible generar unos 174 GWh al año. Esta generación conseguiría un ahorro de 18 millones de euros, y dejando de emitir 28.000 toneladas de CO₂ al año. La inversión agregada para desplegar estas instalaciones supondría un coste de 137 millones de euros.

Finalmente y conociendo el potencial de todos y cada uno de los centros educativos, se han realizado ranqueados en función de las variables más interesantes, pudiendo ser consultados en el apartado correspondiente. De la misma forma, se ha realizado un filtrado compuesto para proponer las instalaciones piloto más interesantes desde el punto de vista del autoconsumo y del impacto social.

La decisión sobre que instalaciones deberían priorizarse depende en gran medida de que parámetros se consideren como relevantes, o si se busca la consecución de indicadores cruzados.

En líneas generales se concluye que las instalaciones fotovoltaicas en los centros educativos son una solución viable buscando tener un triple impacto (social, económico y medioambiental) sobre la sociedad y más concretamente, sobre las familias más cercanas al centro.

ÍNDICE

1.	Introducción.....	4
2.	Metodología	5
2.1.	Evaluación del consumo.....	5
2.1.1.	Análisis de datos de la curva de consumo	6
2.2.	Evaluación de la producción	9
2.2.1.	Modelo 3D de la ciudad	9
2.2.2.	Dimensionamiento	9
2.2.3.	Producción	10
2.3.	Evaluación de los impactos tecno-económicos.....	10
2.4.	Evaluación del impacto social	10
2.5.	Evaluación del impacto ambiental	11
3.	Resultados socio-demográficos	12
3.1.	Centros objeto del estudio.....	12
3.1.1.	Superficie construida	13
4.	Resultados de potencial tecno-económico.....	14
4.1.	Datos de potencial técnico.....	14
4.1.1.	Energía fotovoltaica generada.....	15
4.1.2.	Cobertura renovable total y porcentaje de autoconsumo	17
4.2.	Datos Potencial económico.....	18
4.2.1.	Ahorro económico anual	18
4.2.2.	Inversión económica	19
5.	Resultados de impacto ambiental	20
6.	Resultados de Potencial social	21
7.	Priorización	22
8.	Conclusiones.....	28



Correo

hello@urbanimpacte.com



www.urbanimpacte.com