



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Hacia el transporte sostenible en las ciudades: integración urbana de sistemas fotovoltaicos para alimentación de vehículos eléctricos

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ENERGÍAS RENOVABLES



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Autor: Arturo Rodríguez Abenza
Director: Antonio Urbina Yeregui

Cartagena, 25 de Septiembre de 2017

ÍNDICE

1.	Introducción.....	2
1.1.	Gases de efecto invernadero:	2
1.2.	Gases tóxicos y/o nocivos:.....	3
2.	Estado del arte.....	7
3.	Listado de los objetivos.	13
3.1.	Objetivo principal:	13
3.2.	Objetivos parciales	13
4.	Metodología a utilizar.....	14
4.1	Metodología:.....	14
4.2	Ecuaciones:.....	15
5.	Cálculos.	17
5.1.	Emisiones de gases:.....	17
5.2.	Consumo energético. Eficiencia.....	20
5.3.	Impacto económico.	22
5.4.	Instalación Solar Fotovoltaica.....	24
5.4.1.	Módulo fotovoltaico.	24
5.4.2.	Ubicación.	25
5.4.3.	Pérdidas de la instalación.	27
5.4.4.	Temperaturas de las células para la selección de inversor.....	30
5.4.5.	Número de módulos y de inversores.....	32
5.4.6.	Energía producida por la instalación.	33
5.4.7.	Número de vehículos eléctricos alimentados por energía fotovoltaica....	35
5.4.8.	Emisiones evitadas.	38
5.4.9.	Ahorro económico.	39
6.	Análisis de resultados.....	40
6.1.	Análisis de los puntos o estaciones meteorológicas situadas en Madrid sobre las concentraciones de óxidos de nitrógeno	40
6.2.	Comparación si la energía procede del mix energético actual.....	43
7.	Comparación vehículos de combustión frente a eléctrico.	46
8.	Conclusiones.....	50
9.	Bibliografía.....	51

Hacia el transporte sostenible en las ciudades: integración urbana de sistemas fotovoltaicos para alimentación de vehículos eléctricos

1. Introducción.

En este Trabajo Fin de Máster, se va a tratar tema de la sostenibilidad de las ciudades, en este caso en concreto se hablará de la ciudad de Madrid, ya que sus problemas de contaminación e insostenibilidad del transporte se han hecho más eco en la prensa que el resto de ciudades españolas. Se tratará de analizar las emisiones de escape de los vehículos de combustión impulsados mediante la utilización de combustibles fósiles y cómo repercute en términos ambientales, energéticos y económicos, que para ello se analizará en las mismas condiciones en modo comparativo con el vehículo eléctrico que demuestra ser más eficiente y más sostenible. Es por ello que el vehículo eléctrico es el medio necesario y vital para solventar la contaminación en las ciudades y para hacer frente al mayor reto del ser humano, el cambio climático que con la contribución de gases de efecto invernadero procedente del actual sistema hace que se agrave cada año aumentando la temperatura del planeta.

1.1. Gases de efecto invernadero:

Los gases de efecto invernadero son los que contribuyen al calentamiento global, es decir, provocan que la temperatura del planeta aumente. Es un proceso en el que la radiación térmica emitida por la superficie planetaria es absorbida por los gases de efecto invernadero atmosféricos y es reirradiada en todas las direcciones. Ya que parte de esta radiación es devuelta hacia la superficie y la atmósfera inferior, resulta en un incremento de la temperatura superficial media respecto a lo que habría en ausencia de los gases de efecto invernadero (GEI) [1].

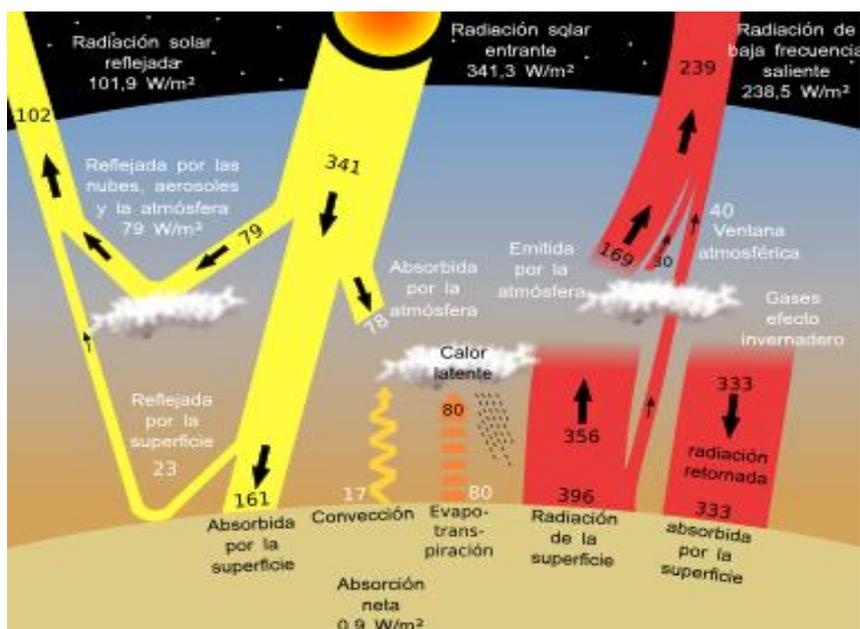


Imagen 1: Efecto invernadero. Fuente: Wikipedia.

Como gases de efecto invernadero destacan el dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua (H_2O) y el óxido de nitrógeno (NO_x) aunque en menor medida. También destacan otros como causantes de efecto invernadero no nombrados anteriormente pero que contribuyen a ello como es el metano (CH_4), el ozono (O_3) y los clorofluorocarbonos (CFC).

1.2. Gases tóxicos y/o nocivos:

La contaminación por gases tóxicos, hace referencia a la alteración de la atmósfera terrestre susceptible de causar impacto ambiental por la presencia de gases o partículas sólidas o líquidas en suspensión, en proporciones distintas a las naturales que pueden causar peligro a la salud del hombre, los gases tóxicos pueden perjudicar a distintos materiales, puede reducir la visibilidad y producir olores muy desagradables. El nombre se aplica por las alteraciones que tiene efector perjudiciales [2].

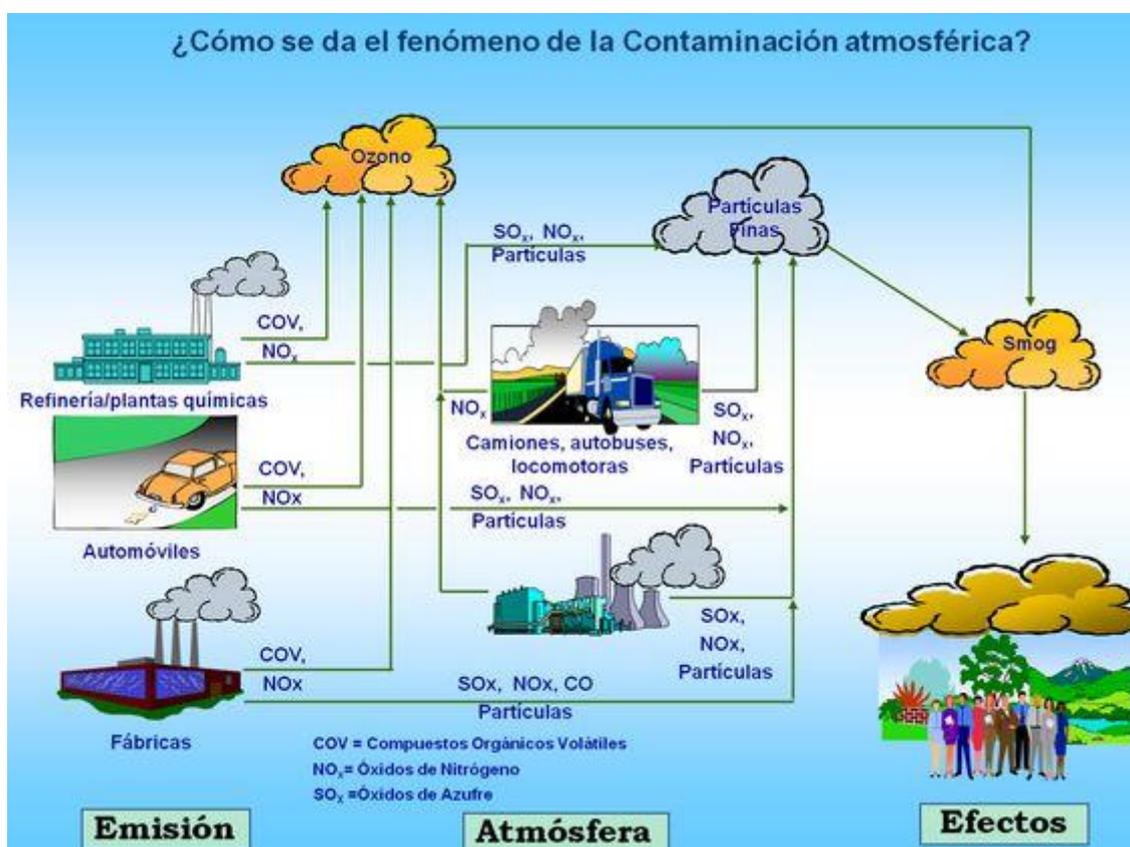


Imagen 2: Contaminación. Fuente: Wikipedia.

Como gases tóxicos destacan el óxido de nitrógeno (NO_x), el ozono (O_3), el óxido de azufre (SO_x) y los compuestos volátiles (COV).

- ❖ **Dióxido de carbono (CO_2):** es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono, unidos mediante enlaces covalentes. Es un gas incoloro y vital para la vida en la Tierra. Este compuesto [3].

- ❖ Vapor de agua (H_2O): es un gas que se obtiene por evaporación y/o ebullición del agua líquida o por sublimación del hielo. Es el que más contribuye al efecto invernadero debido a la absorción de los rayos infrarrojos. Es inodoro e incoloro [4].

- ❖ Óxido de nitrógeno (NO_x): Se aplica a varios compuestos mediante el término N_xO_y , formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno. El proceso de formación más habitual de estos compuestos inorgánicos es la combustión a altas temperaturas, proceso por el cual habitualmente el aire es el comburente. En función de la valencia atómica que utilice el nitrógeno, tienen diversas formulaciones entre las que destacan:
 - Óxido nitroso (N_2O).
 - Óxido nítrico (NO).
 - Anhídrido nitroso (N_2O_3).
 - Tetraóxido de nitrógeno (N_2O_4).
 - Óxido nítrico (NO_2).
 - Anhídrido nítrico (N_2O_5).

Los óxidos de nitrógeno, una vez liberados al aire desde el escape de vehículos motorizados, en especial motores diésel y de mezcla pobre, de la combustión del carbón, petróleo o gas natural, y durante procesos tales como la soldadura por arco, galvanoplastia, grabado de metales y detonación de dinamita. También son producidos comercialmente al hacer reaccionar el ácido nítrico con metales o con celulosa. Estos gases, liberados al aire por las combustiones, forman a través de reacciones fotoquímicas, contaminantes secundarios como el PAN (nitrato de peroxiacetilo), formando el smog fotoquímico típico de ciudades como Los Ángeles donde hay una gran concentración de vehículos a motor. Las reacciones producidas en la atmósfera por estos compuestos son muy complejas, e intervienen radicales como hidróxidos (OH), ozono (O_3) y otros [5].

- ❖ Metano (CH_4): es el hidrocarburo alcano más sencillo, cada uno de los átomos de hidrógeno está unido al carbono por medio de un enlace covalente. Es una sustancia no polar que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias. Es incoloro e inodoro y apenas soluble en agua en su fase líquida. En la naturaleza se produce como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas. Este proceso natural se puede aprovechar para producir biogás. Muchos microorganismos anaeróbicos lo generan utilizando el dióxido de carbono como aceptor final de electrones. Constituye hasta el 97% del gas natural, en las minas de carbón se le conoce como gas grisú y es muy peligroso, explosivo e inflamable. Es un gas de efecto invernadero relativamente potente que podría contribuir al calentamiento global ya que tiene un potencial de calentamiento de 23 pero que su concentración es bajísima, lo que significa que en una media de

tiempo de 100 años cada kilogramo de metano calienta la tierra 25 veces más que la misma masa de dióxido de carbono, sin embargo hay aproximadamente 220 veces más dióxido de carbono en la atmósfera de la Tierra que metano por lo que éste contribuye de manera menos importante al efecto invernadero [6].

- ❖ Ozono (O_3): es una sustancia cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno, formado al disociarse los dos átomos que componen el gas de oxígeno. Cada átomo de oxígeno liberado se recombina contra molécula de oxígeno O_2 , formando ozono. A temperatura y presión ambientales es un gas de olor acre y generalmente incoloro, pero en grandes concentraciones puede volverse ligeramente azulado. Si se respira en grandes cantidades puede provocar una irritación en los ojos y mucosas [7].
- ❖ Monóxido de carbono (CO): es un gas incoloro y altamente tóxico que puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados. Se produce por la combustión deficiente de sustancias como gas, gasolina, queroseno, carbón, petróleo, etc. La toxicidad de este gas se debe a la facilidad de recombinación con los glóbulos rojos del organismo, que se adhiere mejor que una molécula de oxígeno (O_2) [8].
- ❖ Clorofluorocarbonos (CFC): es un compuesto formado por cada uno de los derivados de los hidrocarburos saturados obtenidos mediante la sustitución de átomos de hidrógeno por átomos de flúor y/o cloro principalmente. Debido a su alta estabilidad fisicoquímica y su nula toxicidad, han sido muy usados como gases refrigerantes, agentes extintores y propelentes para aerosoles [9].
- ❖ Óxido de azufre: Cabe destacar dos, el dióxido de azufre (SO_2) y el trióxido de azufre (SO_3). En cuanto al dióxido de azufre es un gas incoloro con un característico olor asfixiante, es un gas tóxico especialmente cuando se mezcla con el agua provocando ácido sulfuroso (H_2SO_3) y es corrosivo. En cuanto al trióxido de azufre, en condiciones normales es un sólido incoloro de textura fibrosa, pero en condiciones estándar es un gas contaminante siendo el principal causante de la lluvia ácida, ya que en su recombinación con el agua da lugar al ácido sulfúrico (H_2SO_4). Ambos gases, son el producto de la combustión del azufre no eliminado en los procesos de refinamiento de los combustibles fósiles [10].
- ❖ Compuestos volátiles: son compuestos orgánicos que contienen carbono y se encuentran en todos los elementos vivos. Contienen elementos como hidrógeno, oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. Los COV o VOC (siglas en inglés) son liberados por la quema de combustibles como la gasolina, madera, carbón o gas natural. Algunos de estos compuestos orgánicos volátiles son naturales como el isopreno, pineno y limoneno, y otros artificiales como el benceno, tolueno y nitrobenceno. Son peligrosos ya que provocan la contaminación del aire y actúan como precursores del

ozono troposférico y como destructores del ozono estratosférico. Contribuyen a la formación del smog fotoquímico al reaccionar con otros contaminantes atmosféricos y la luz solar. Estos compuestos causan al cuerpo humano irritación de ojos, garganta y nariz, náuseas, dolor de cabeza, vómitos, reacciones alérgicas, mareos, dolores estomacales e intestinales y manchas en la piel. A largo plazo también pueden dañar el hígado, riñones y el sistema nervioso central, además de provocar cáncer.

Tabla de los gases de efecto invernadero y nocivos para la salud.

Gases	Potencial de calentamiento global
Dióxido de carbono (CO_2)	1
Metano (CH_4)	25
Óxidos de nitrógeno (N_xO_x)	298
Vapor de agua (H_2O)	Según el protocolo de Kioto no existe evidencia científica que demuestre que su grado de concentración en la atmósfera está incrementando debido a factores humanos.
Monóxido de carbono (CO)	No se considera gas de efecto invernadero aunque en presencia de oxígeno con altas temperaturas se recombina para formar CO_2 .
Ozono (O_3)	Se encuentra cubierto bajo el Protocolo de Montreal que trata sobre la preservación de la capa de Ozono.
Óxidos de azufre (SO_x)	Son causantes de la lluvia ácida pero no hay evidencias de que sean potenciadores de calentamiento global.
Clorofluorocarbonos (CFC)	Existen varios tipos y según que tipo tienen varios rangos de calentamiento global entre 124 – 12.200.
Compuestos volátiles (VOC)	Contribuyen a la formación de los gases mencionados anteriormente.

Tabla 1: Gases según el potencial de calentamiento global. Fuente: obccd.org

2. Estado del arte.

El crecimiento de las ciudades lleva consigo un aumento de la población y de la extensión de la misma. La población se encuentra en continuo movimiento y, por consiguiente, conlleva un gasto de energía. A lo largo de la historia esta energía se ha obtenido de fuentes fósiles como el carbón, el petróleo y el gas. El excesivo uso de estas fuentes, en especial la del petróleo, ha ido dejando una huella tras el paso de los años que se llama contaminación que según la AIE (Agencia Internacional de la Energía) mata a más de 6 millones de personas [11]. La contaminación es la acumulación de sustancias nocivas para el organismo humano y para la naturaleza, que al pasar cierta concentración, causan daños y perjuicios como enfermedades respiratorias, irritación de mucosas, corrosión y deterioro de los inmuebles.

Dado que la sociedad moderna de hoy en día demanda una alta y variada movilidad, lo que requiere un sistema de transporte complejo y adaptado a las necesidades sociales, que garantice los desplazamientos de personas y mercancías de una forma económicamente eficiente y segura. El sistema actual de transporte plantea desafíos crecientes y significativos para el medio ambiente, la salud humana y la sostenibilidad, en tanto que los actuales esquemas de movilidad se han centrado en mucha mayor medida en el vehículo privado que ha condicionado tanto las formas de vida de los ciudadanos y de las ciudades, como la sostenibilidad urbana y territorial. La movilidad urbana está adquiriendo un protagonismo creciente. El mundo cada vez se hace más urbano y desplaza más profusamente, tanto interior como exteriormente. Actualmente más del 50% de las personas viven en ciudades, por lo que la transición urbana hacia la sostenibilidad requiere una nueva cultura de las ciudades y del territorio y un nuevo enfoque ecosistémico, entendiendo los espacios en su totalidad y complejidad. Dicho esto, las ciudades necesitan modelos de movilidad inteligentes con sistemas de transporte sostenibles en favor de la economía eficiente, de la salud ambiental y del bienestar de sus habitantes. En las ciudades, aunque sólo suponen el 1% del territorio, se concentran los problemas, ya que en ellas se consumen más del 75% de la energía generada y se producen el 80% de las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero. La sostenibilidad urbana requiere una movilidad racional y un transporte sostenible incidiendo en la dimensión ambiental para reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación atmosférica, contaminación acústica, etc.

Las acciones para llevar a cabo un transporte sostenible en las ciudades pasan por la Estrategia de Movilidad Urbana definida con criterios de sostenibilidad ambiental, económica y social ha definido objetivos en cinco áreas:

- 1- Territorio, planificación del transporte y sus infraestructuras.
- 2- Lucha contra el cambio climático y reducción de la dependencia energética.
- 3- Mejora de calidad del aire y reducción del ruido.
- 4- Mejora de la seguridad y salud.
- 5- Gestión de la demanda, la movilidad es un objetivo prioritario de la Estrategia Española de Sostenibilidad Urbana y Local (EESUL) que adicionalmente incorpora objetivos generales de urbanismo, gestión urbana, edificación y relaciones mundo rural-urbano.

La construcción de un modelo de movilidad sostenible exige procesos planificadores y participativos que pivoten sobre un sector de transporte moderno y flexible, pero también es necesario adoptar un enfoque integrador con otros sectores, como el energético y considerar las diferentes pautas urbanas e interurbanas, las dinámicas sociodemográficas y los procesos urbanísticos y territoriales que tienen efectos sobre la movilidad, planteando así soluciones integrales y coherentes, aun asumiendo la complejidad que todo ello supone. La integración de la movilidad y el transporte en la planificación territorial y urbanística con mayores dosis de coordinación y cooperación administrativa es fundamental para minimizar los costes externos y los impactos de las infraestructuras lineales sobre los ecosistemas, la biodiversidad, el paisaje y la fragmentación del territorio. Para que el transporte sea sostenible en las ciudades, dependen del vehículo eléctrico.

El vehículo eléctrico es la alternativa real para que el transporte urbano sea sostenible en el futuro, ya que reduce la contaminación medioambiental y no emite gases tóxicos nocivos para la salud ni gases de efecto invernadero, dado que este problema se acentúa más en las grandes ciudades o en los grandes núcleos urbanos, donde se producen enfermedades cardiorrespiratorias causantes de más de 1,3 millones de muertes en todo el mundo por la contaminación del aire. También reduce la contaminación acústica, la cual puede causar daños en la calidad de vida de las personas produciendo efectos nocivos fisiológicos y psicológicos para las personas, porque son silenciosos. El vehículo eléctrico, reduce también, el consumo de energía, puesto que un motor eléctrico (asíncrono o síncrono, los más utilizados en la automoción eléctrica) son mejores convertidores de energía con rendimientos superiores al 90% mientras que un vehículo con motor de combustión apenas llega al 30%. Una de las mayores limitaciones actuales en el automóvil eléctrico para la generalización de los vehículos eléctricos es el coste de las baterías, su autonomía y su capacidad, en comparación el automóvil actual. Se están realizando estudios [12] sobre la circulación en grandes ciudades respecto a los siguientes parámetros:

- Número de kilómetros diarios.
- Número de desplazamientos por día y por persona.
- Velocidad media durante el desplazamiento.
- Número de pasajeros por trayecto.
- Equipaje transportado por trayecto.

Las conclusiones generales que se obtienen en valores medios son sorprendentes puesto que el número de kilómetros realizados está directamente relacionado con el número de desplazamientos diarios y por persona se encuentra sobre los 50 km, la velocidad media de dichos desplazamientos suele ser de unos 50 km/h, el número de pasajeros por trayecto es de 2 y la ocupación del maletero no llega al 30% de su capacidad total. Esto indica que el 90% de los trayectos realizados en un año se podrían realizar con automóviles de pequeñas dimensiones y con una autonomía inferior a los 80 kilómetros, es decir, estos trayectos estarían especialmente indicados para automóviles eléctricos donde, se cumplen todas esas condiciones y además tienen un consumo energético inferior al vehículo de combustión, obteniéndose el consiguiente ahorro de energía.

La electrificación del transporte es un enfoque prometedor para aliviar el problema del cambio. La integración del vehículo eléctrico en el mercado ha introducido significativos impactos en varios campos, especialmente en la red. Varias políticas han sido implementadas para fomentar el desarrollo del vehículo eléctrico y el incremento en las tendencias del mismo que en los recientes años ha sido satisfactorio. El continuo desarrollo de un vehículo eléctrico, baterías y las tecnologías de carga han sido mejoradas para tener mayor aceptación. Además, la integración del vehículo eléctrico en una red inteligente puede conllevar un gran potencial de oportunidades, especialmente desde la perspectiva de la tecnología de vehículo en la red y como una solución al problema de la intermitencia de las energías renovables.

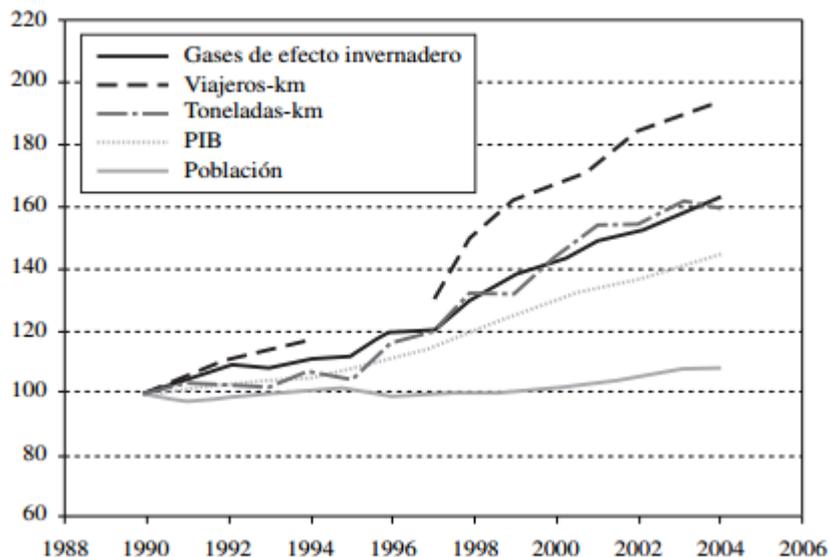


Imagen 3: Evolución de la demanda de energía del transporte respecto a los GEI en España. Fuente: AIE.

Debido a que el vehículo eléctrico ya es una realidad tecnológica, es una alternativa a corto o medio plazo para que pueda sustituir al vehículo con motor de combustión interna en trayectos urbanos. El impulso que ha recibido el vehículo eléctrico en los últimos años no sólo está relacionado con la necesidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles, sino que también está ligado a los avances realizados en materia de capacidad de carga de las baterías. La aparición de dispositivos electrónicos como ordenadores portátiles y teléfonos móviles (ahora llamados smartphones), entre otros, ha impulsado la investigación en este campo y favorece de esta manera la viabilidad de los vehículos eléctricos.

La perspectiva del ciudadano sobre el precio del vehículo eléctrico sigue siendo demasiado elevado en comparación con el de uno térmico de la misma gama, incluso puede llegar a duplicarlo. Aunque el coste de la energía pueda ser tres o cuatro veces inferior al de combustión, y que en pocos años el ahorro energético permita amortizar buena parte de dicho sobrecoste, el ciudadano suele basar su decisión en el precio inicial. La autonomía y la recarga de las baterías, así como la disponibilidad de una red de puntos de recarga o electrolineras por todo el territorio, son otros factores que influyen en la decisión final e individual dado que, por el momento, no constituyen una opción competitiva frente a la facilidad con la que se llena el depósito de carburante de un motor térmico.

Probablemente los vehículos eléctricos tengan una presencia en el mercado automovilístico las próximas décadas. Tienen un potencial de apoyo a la red también. Esta función presenta un cargador con una sola fase bidireccional que empareja una fuente fotovoltaica con un cargador de vehículo resultando una producción con coste reducido. También se estudia la posibilidad de activar la inyección de energía de los EV para un periodo corto de tiempo durante un tiempo nublado para mantener el sistema estable.

El modelo de ciudad, del que se ha hablado anteriormente, será determinante, debido a que en los países donde vive población en vertical (edificios) y no en horizontal (viviendas unifamiliares), la implementación de los sistemas de conexión de recarga para los vehículos eléctricos en el primer tipo de vivienda, resultará más compleja en comparación con aquellas zonas en las que predominen el segundo tipo de vivienda. En este sentido, la reglamentación que se está desarrollando para nuevas construcciones prevé la instalación de puntos de recarga en los aparcamientos. Pero es un proceso que requiere tiempo, aunque el vehículo eléctrico y todos los elementos complementarios sean ya una realidad tanto para su uso privado como comercial.

Debido al incremento de vehículos eléctricos y de los sistemas fotovoltaicos, con una aplicación para hogares/edificios con un sistema de gestión de energía es necesitada para determinar cuándo y cuánto para cargar un vehículo eléctrico en un hogar.

La función consiste en dos partes, una de ella es cargar el EV con algoritmos de programación y la otra, una implementación de aplicación de prototipos para hogares con sistemas de gestión de energía. El propósito del algoritmo de carga de los EV está diseñado para determinar el programa óptimo de carga basado en predicciones de consumo eléctrico. Los resultados numéricos vienen a demostrar la eficacia del propósito método de carga inteligente.

Aunque el vehículo eléctrico supone una clara ventaja medioambiental, al no generar, localmente emisiones contaminantes ni tampoco la contaminación acústica que sí produce el motor de combustión interna, no evita que la procedencia de la energía de sus baterías se realice desde centrales de generación que utilicen combustibles fósiles, como pueden ser las centrales de carbón, la cuales producen emisiones de compuestos contaminantes y de CO₂ es muy elevada, independientemente de su ubicación. Éste es un aspecto a tener muy en cuenta cuando se trata del vehículo eléctrico, ya que en el caso de los motores térmicos se considera todo el ciclo “well to Wheel” (del pozo a la rueda), también se debería de considerar hacerlo en el vehículo eléctrico y analizar el comportamiento ambiental desde la central de generación de la rueda.

Con respecto al concepto “cero emisiones” sólo es cierto a nivel local, donde se utiliza el vehículo, pero en el conjunto del ciclo, el nivel de emisiones depende de la tecnología aplicada para producir electricidad. En la actualidad, este valor todavía es irrelevante dada la poca presencia de vehículos eléctricos, pero a la larga será una cuestión a tener muy en cuenta. Para que el concepto cero emisiones sea real al 100%, requiere que las fuentes que alimenten las baterías de los vehículos eléctricos sean renovables, es decir, procedentes de las fuentes solar fotovoltaica, eólica,

hidráulica, maremotriz, etc. En este caso se centrará en la energía solar fotovoltaica como la fuente principal para la recarga de dichos vehículos.

El Sol es un astro, que continuamente se producen en él reacciones químicas de Hidrógeno y Helio. Estas reacciones químicas producen energía en el orden de Gigavatios o Teravatios (unidades de energía), y gran parte esa energía la emite a los planetas que le rodean (Sistema Solar). Dada la posición de nuestro planeta (La Tierra) se dan las condiciones idóneas para que haya vida. Puesto que el Sol es una fuente de energía inagotable (al menos desde la escala de vida humana) y que la energía se ha convertido en un bien básico para la vida. La Energía Solar Fotovoltaica es la energía procedente del Sol, que se convierte en energía eléctrica de forma directa, es decir, sin ninguna conversión inmediata. Se produce la energía eléctrica mediante generadores fotovoltaicos compuestos por módulos fotovoltaicos (también llamados placas solares fotovoltaicas). Estos módulos se conectan entre sí para producir energía y están formados por pequeños cuadrados llamados células fotovoltaicas. Para que los módulos fotovoltaicos generen energía eléctrica, es fundamental que tengan una inclinación y una orientación adecuada para conseguir una producción eficiente. Un módulo fotovoltaico, como se ha dicho anteriormente, es un generador eléctrico que transforma la energía procedente del Sol en energía eléctrica. Este generador está compuesto por un conjunto de células fotovoltaicas que son las responsables de convertir los rayos solares en electricidad, donde se produce el efecto fotovoltaico.

El efecto fotoeléctrico fue descubierto por Antoine Henri Becquerel que realizó numerosas investigaciones sobre la absorción de luz. También realizó numerosos estudios Heinrich Rudolf Hertz, quién describió este fenómeno al observar el salto que producía el arco eléctrico entre dos electrodos cuando se iluminaba con rayos ultravioletas. La explicación teórica la realizó Albert Einstein que mediante su trabajo "Heurística de la generación y conversión de la luz" demostró que los fotones de los rayos del Sol transmitían energía a los electrones y éstos entraban en movimiento.

El efecto fotovoltaico es el efecto producido por la incidencia de fotones (rayos solares) sobre un material (generalmente semiconductor como Silicio o Germanio) que transmiten energía a los electrones, y por tanto, éstos se ponen en continuo movimiento provocando la transformación de la energía lumínica en energía eléctrica de origen solar.

Como se ha mencionado anteriormente, un módulo fotovoltaico está compuesto de un conjunto de células fotovoltaicas unidas entre sí. Para explicar su funcionamiento conviene decir que están formadas por materiales semiconductores como el Silicio (el más común) y Germanio. Este tipo de elementos químicos por su posición en la tabla periódica y debido a su número de electrones se les confiere esa propiedad de semiconductor. Estos átomos forman una red cristalina en la que cada átomo comparte sus electrones de valencia (electrones de la última capa) con los cuatro átomos vecinos, formando así, enlaces covalentes. Al recibir energía de un fotón solar (en forma de luz y calor) estos electrones de valencia absorben la cantidad de energía necesaria para romper el enlace covalente, lo que permite moverse por toda la red cristalina con total libertad. Al romperse el enlace y liberarse los electrones (carga

negativa), se generan huecos (carga positiva), a la misma vez que se rompen enlaces y se forman los huecos, los electrones se recombinan con otros huecos, esto se llama recombinación de un par electrón-hueco y provoca diferenciales de carga [13]

El almacenamiento sigue siendo la gran asignatura pendiente debido a que todavía no se ha desarrollado una batería que satisfaga las necesidades completas del ser humano. Se han desarrollado baterías de todos los tipos, la primera de ellas fue la del ingeniero y científico George Leclanché que fue la de plomo ácido y raíz de esta batería se desarrollaron otras con distintas propiedades y usos, como pueden ser la de níquel metal hidruro (NiOOH), la de níquel cadmio (NiCd) entre otras. Pero la que de momento ha destacado por sus cualidades y propiedades es la de ion litio, batería que se utiliza para todo tipo de dispositivo electrónico (smartphones, portátiles, vehículos eléctricos, etc.). En cuanto a la carga de las baterías de ion litio por la energía solar fotovoltaica, fue probada mediante el uso de la alta eficiencia de los módulos de tipo silicio cristalino y de silicio amorfo para recargar módulos de batería de ion litio. Las baterías de iones de litio de tipo fosfato de hierro se cargaron con seguridad a su máxima capacidad y los riesgos térmicos asociados con la sobrecarga fueron evitados por el diseño del auto-regulador del sistema de carga solar. La energía solar para la carga de baterías tiene una eficiencia de 14,5% y la eficiencia de las baterías es aproximadamente del 100%.

Como solución a la variabilidad de los puntos de carga de energías renovables como la solar fotovoltaica están creciendo y su integración a la red es mayor. Además del incremento de la inclusión de vehículos eléctricos presentan un reto para la distribución de puntos de carga. Esto presenta un sistema bidireccional, altamente eficiente de un cargador de corriente continua a corriente continua que está situado entre el alto voltaje de los inversores de los módulos fotovoltaicos y las baterías de los vehículos eléctricos. De otro modo, reduciendo así la velocidad de cambio de la potencia de salida del inversor a un nivel por debajo de la velocidad de rampa de los recursos de red existentes.

En cuanto a la carga inteligente de los vehículos eléctricos se presenta un modelo desarrollado para el estudio de un incremento del autoconsumo de energía fotovoltaica por carga inteligente de los vehículos eléctricos y de la tecnología de vehículos en la red. Tres algoritmos de control son presentados para gestionar el perfil de carga en tiempo real o usando una optimización lineal con predicciones de demanda de energía fotovoltaica.

Por último es necesario que haya una integración de energía entre sistemas fotovoltaicos y vehículos eléctricos pueden ayudar a superar los problemas de viabilidad de una movilidad más sostenible, en un contexto urbano. Para este propósito, a una escala urbana de un sistema integrado es presentado mediante un modelo matemático que considera que los flujos de potencia provenientes del generador fotovoltaico, la estación de carga y la red eléctrica.

3. Listado de los objetivos.

3.1. Objetivo principal:

- Diseño de un sistema fotovoltaico adaptado a la generación de energía para vehículos eléctricos teniendo en cuenta su integración urbana.

3.2. Objetivos parciales (se cuantificarán para el sistema fotovoltaico finalmente diseñado):

- Producción de energía limpia: Integrar, instalar y utilizar en los inmuebles urbanos la energía solar fotovoltaica para destinarla a la carga de los vehículos eléctricos, cuyos puntos de carga se situarán a pie de calle.
- Reducción de los gases de efecto invernadero: Con la obtención de energía procedente de fuentes renovables como la fotovoltaica en este caso.
- Reducción de gases tóxicos y/o nocivos: Mediante la utilización de vehículos eléctricos.
- Integración de puntos de recarga para vehículos eléctricos: Fundamental para el uso de éstos y promocionarlos.
- Mejora del transporte público: restringir el tráfico a los vehículos convencionales y aportar más vehículos destinados al transporte público ofreciendo mejores horarios y más frecuencia de los mismos.
- Mejorar el clima y la movilidad: Para lo que deben elaborarse, actualizarse y desarrollarse planes de movilidad urbanos y metropolitanos con el objetivo de reducir emisiones 50% para 2030.
- Frenar el cambio climático y mejorar la calidad de vida urbana: El cambio de modelo de movilidad urbana debe ir junto a medidas para mejorar la salud (calidad del aire, ruido, sedentarismo, accidentalidad) y de cohesión social (exclusión por género edad o poder adquisitivo).
- Limitación de vehículos de combustión interna: reducir la circulación de los vehículos que emitan gases nocivos para la salud.

4. Metodología a utilizar.

4.1 Metodología:

Para la realización del estudio de la demanda eléctrica en función de los distintos transportes con los que cuentan las ciudades, se consultará con la información a los propios ayuntamientos y la empresa Red Eléctrica Española.

La estimación de la producción de la energía fotovoltaica necesaria para cubrir toda o parcialmente la demanda, se realizará mediante el software proporcionado por Unión Europea llamada PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) mediante el cual se pueden calcular los datos de irradiancia y de producción en función de la potencia instalada.

Diseño de los sistemas fotovoltaicos, para ello se recurrirá a los apuntes y conocimientos aprendidos durante la impartición de la asignatura Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos.

Para llevar a cabo el estudio de emisiones de gases de efecto invernadero y de gases nocivos y/o dañinos para la salud y su equivalencia en dióxido de carbono, se utilizarán datos genéricos como el número de vehículos matriculados en la ciudad de Madrid, estimando que la mitad de éstos son propulsados mediante gasolina y la otra mitad por diésel y teniendo en cuenta la distancia media que recorre cada ciudadano al día (sobre los 50 kilómetros).

Durante la realización del estudio ambiental se tendrán en cuenta las condiciones atmosféricas y la toma de datos que proporcionan los ayuntamientos, posteriormente se podrá hallar una correlación de datos de la evolución y de esta manera saber cómo solventar los posibles problemas que surjan.

Para llevar a cabo la realización la viabilidad económica, se tendrán en cuenta los gastos de los particulares con distintos vehículos en el ámbito privado y público, y cómo influye en las ciudades la inversión para el fomento del transporte sostenible.

Se ha realizado un estudio del consumo energético y de emisiones de gases procedentes de los vehículos que circulan por la ciudad de Madrid. En dicho estudio, los datos no son todo lo exhaustivos que deberían ser ya que depende de la circulación de los habitantes de dicha ciudad y por consiguiente habría que hacer un estudio todos los días y todas las horas para saber la gente que utiliza su vehículo privado de motor de combustión. Hay muchos factores que influyen como la rutina de los habitantes, el día de la semana (no es lo mismo un lunes que un domingo) y el mes (no es lo mismo el mes de marzo que el mes de agosto).

Para el cálculo de toneladas equivalentes de dióxido de carbono emitido, se calculará según la página web <http://cambioclimaticomurcia.carm.es> que dispone de una herramienta de cálculo según el tipo de vehículo, combustible y cilindrada del mismo.

Se analizarán distintos puntos de la ciudad en relación a las cantidades de óxidos de nitrógeno emitidos, que como ya se sabe es un gas nocivo para la salud y principal

causante del ozono troposférico por su gran capacidad de recombinación con el oxígeno. Esta información sobre los datos del óxido de nitrógeno en distintos puntos de la ciudad de Madrid ha sido recopilado por el diario El País el 16/02/2017 en el que muestra dichos datos referidos a la media europea en el año 2014.

Aplicando los datos de consumo del vehículo eléctrico, se puede obtener el consumo de la flota de vehículos que circulan por la ciudad de Madrid y posteriormente calcular y dimensionar esos consumos para producir energía eléctrica de origen renovable, en este caso sería procedente de la energía solar mediante módulos fotovoltaicos. Se procederá a calcular el consumo de toda la flota de vehículos para contrastar datos con los actuales y posteriormente se calculará un caso real de una flota de vehículos eléctricos (aún por determinar el número) y poder observar la repercusión de la ciudad de Madrid.

Para calcular las pérdidas por sombras, se remite al Pliego de Condiciones de Instalaciones Eléctricas Fotovoltaicas conectadas a la red de la IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), en el cual se trabajará de acuerdo con los anejos I y II. El anejo I no se tiene en cuenta ya que hace referencia al cálculo de medida de la potencia instalada haciendo referencia a su vez al CTE (Código Técnico de la Edificación) Documento Básico HE Ahorro de Energía apartado HE5.

Para el cálculo de la elección del inversor se tienen en cuenta una serie de factores como la tensión en circuito abierto, la intensidad de cortocircuito, la temperatura que alcanza la célula fotoeléctrica para que opere a un buen rendimiento. Estos datos, al depender de la temperatura se calculan cuando las temperaturas son extremas, es decir, cuando es invierno se alcanza la temperatura mínima y cuando es verano, se alcanza la temperatura máxima, por lo tanto, se realizan las siguientes operaciones para verificar que las conexiones serie-paralelo de los módulos, son aptas para el inversor seleccionado.

4.2 Ecuaciones:

Las ecuaciones a utilizar son las siguientes:

$$V_{OC} = V_{OC(25^\circ)} + \Delta V_{OC} \times \beta \rightarrow \text{Tensión en circuito abierto.}$$

$$I_{SC} = I_{SC(25^\circ C)} + \Delta T \times \Delta I_{SC} \times \alpha \rightarrow \text{Intensidad de cortocircuito.}$$

$$T_a = T_a + \left(\frac{T_{ONC} - 20}{800} \right) \times I \rightarrow \text{Temperatura de trabajo de la célula fotoeléctrica.}$$

$$\alpha = \frac{\alpha \left(\frac{\%}{^\circ C} \right)}{100} \times I_{SC} \rightarrow \text{Parámetro alfa de intensidad.}$$

$$\beta = \frac{\beta \left(\frac{\%}{^\circ C} \right)}{100} \times V_{OC} \rightarrow \text{Parámetro beta de tensión.}$$

$$V_{mpp} = 0,76 \times V_{OC} \rightarrow \text{Coeficiente de variación de tensión máxima.}$$

$$h = L \times \sin \beta \rightarrow \text{Altura del módulo.}$$

$a = L \times \cos \beta \rightarrow$ Sombra del módulo.

$d = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})} \rightarrow$ Sombra proyectada por el módulo.

$b = a + d \rightarrow$ Distancia entre filas.

4.2.1 Desglose:

$T_a \rightarrow$ Temperatura ambiente (en grados centígrados).

$T_{ONC} \rightarrow$ Temperatura de operación nominal de la célula (en grados centígrados).

$V_{OC(25^\circ)} \rightarrow$ Tensión en circuito abierto a 25°C (V).

$I_{SC(25^\circ C)} \rightarrow$ Intensidad de cortocircuito a 25°C (A).

$\Delta V_{OC} \rightarrow$ Variación de tensión en cortocircuito (V).

$\Delta I_{SC} \rightarrow$ Variación de intensidad de cortocircuito (A).

$\Delta T \rightarrow$ Variación de temperatura (en grados centígrados).

$I \rightarrow$ Irradiancia solar (W/m^2).

$\alpha \rightarrow$ Coeficiente de temperatura en corriente de cortocircuito.

$\beta \rightarrow$ Coeficiente de temperatura en tensión de circuito abierto.

5. Cálculos.

Se tienen en cuenta los datos obtenidos en la web de la Comunidad de Madrid del anuario estadístico [14] donde el valor más reciente es del año 2015 y será el que se tenga en cuenta.

- Turismos → 1,447.604
- Camiones/Furgonetas → 208.965
- Motocicletas → 177.851
- Vehículos eléctricos e híbridos → 2.200 (aproximadamente)

En total suman 1,834.420 vehículos. Sabiendo que 1,832.220 son vehículos impulsados mediante combustibles fósiles.

Para llevar a cabo la realización de este estudio y poder comparar de manera más equitativa para comprobar los distintos resultados, se ha usado el Renault Fluence como vehículo estándar para contrastar dichos resultados, ya que este modelo posee las tres versiones: gasolina, diésel y eléctrica.

5.1. Emisiones de gases:

Se dividirán en dos grupos, los gases de efecto invernadero (GEI) haciendo referencia al dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua (H_2O) y a los gases tóxicos y/o nocivos para salud como son los óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO) [15].

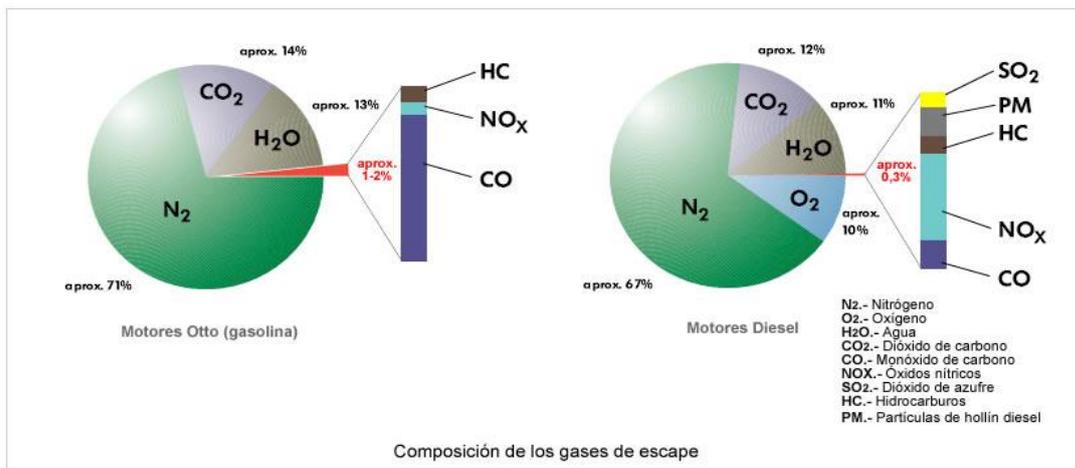


Imagen 4: Composición de los gases de escape de los vehículos de combustión. Fuente: aficionadosalamecanica.net.

- Gasolina:

Por cada litro de gasolina que es consumido, se emiten:

- ❖ 2.370 gramos de CO_2 .
- ❖ 2.200,71 gramos de H_2O .
- ❖ 296,25 gramos de CO .
- ❖ 21,16 gramos de NO_x .

➤ Diésel:

Por cada litro de diésel que es consumido se emiten:

- ❖ 2650 gramos de CO_2 .
- ❖ 2429,16 gramos de H_2O .
- ❖ 4,96 gramos de CO .
- ❖ 39,75 gramos de NO_x .
- ❖ 4,96 gramos de SO_2 .

Volviendo al principio, para el cálculo de emisiones se han tenido en cuenta los datos de consumo de las versiones del Renault Fluence gasolina y diésel [16]:

- ❖ Renault Fluence gasolina → consume $7,6 \text{ l}/100 \text{ Km}$
- ❖ Renault Fluence diésel → consume $5,7 \text{ l}/100 \text{ Km}$



Imagen 5: Renault Fluence gasolina y diésel. Fuente: Renault.

Asumiendo que cada persona recorre al día unos 50 kilómetros al día de media, que en la ciudad de Madrid circulan aproximadamente 1,832.220 coches, de los cuales la mitad (916.110) son gasolina y la otra mitad diésel, el cálculo de los gases emitidos sería el siguiente:

- Coche de gasolina: 1 litro emite
 - 2.370 gramos de CO_2 .
 - 2.200,71 gramos de H_2O .
 - 296,25 gramos de CO .
 - 21,16 gramos de NO_x .

Consumo por vehículo:

$7,6 \text{ litros} \rightarrow 100 \text{ km}$

$3,8 \text{ litros} \rightarrow 50 \text{ km}$

Por tanto se emitiría:

- $2.370 \times 3,8 = 9.006$ gramos de CO_2 .
- $2.220,71 \times 3,8 = 8.438,7$ gramos de H_2O .
- $296,25 \times 3,8 = 1.125,75$ gramos de CO .
- $21,16 \times 3,8 = 80,41$ gramos de NO_x .

Lo que sería emitir un total de $9,75$ Kg de CO_2 equivalente.

- Coche de diésel: 1 litro emite

- 2650 gramos de CO_2 .
- 2429,16 gramos de H_2O .
- 4,96 gramos de CO .
- 39,75 gramos de NO_x .
- 4,96 gramos de SO_2 .

Consumo por vehículo:

$5,7$ litros \rightarrow 100 km

$2,85$ litros \rightarrow 50 km

Por tanto se emitiría:

- $2.650 \times 2,85 = 7.552,5$ gramos de CO_2 .
- $2.429,16 \times 2,85 = 6923,1$ gramos de H_2O .
- $4,96 \times 2,85 = 14,136$ gramos de CO .
- $39,75 \times 2,85 = 113,29$ gramos de NO_x .
- $4,96 \times 2,85 = 14,136$ gramos de SO_2 .

Lo que sería emitir un total de $7,65$ Kg de CO_2 equivalente.

Estas emisiones calculadas multiplicadas por todos los vehículos que circulan serían:

- Gasolina:

- $9,006 \times 916.110 = 8250396,6$ kilogramos de $CO_2 \rightarrow 8250,5$ Tn de CO_2 .
- $8,4387 \times 916.110 = 7730693,1$ kilogramos de $H_2O \rightarrow 7730,7$ Tn de H_2O .
- $1,12575 \times 916.110 = 1031299,5$ kilogramos de $CO \rightarrow 1031,3$ Tn de CO .
- $0,8041 \times 916.110 = 736636$ kilogramos de $NO_x \rightarrow 736,636$ Tn de NO_x .

Los vehículos gasolina emitirían un total de:

$$9,75 \text{ Kg de } CO_2eq \times 916.110 = 8932072,5 \text{ Kg de } CO_2eq$$

$8932,0725$ Tn de CO_2eq al día.

- Diésel:

- $7,5525 \times 916.110 = 6918845,25$ kilogramos de $CO_2 \rightarrow 6918,8$ Tn de CO_2 .
- $6,923 \times 916.110 = 6342251,9$ kilogramos de $H_2O \rightarrow 6342,25$ Tn de H_2O .
- $0,014136 \times 916.100 = 12950$ kilogramos de $CO \rightarrow 12,95$ Tn de CO .
- $0,11329 \times 916.100 = 103785$ kilogramos de $NO_x \rightarrow 103,78$ Tn de NO_x .
- $0,014136 \times 916.100 = 12950$ kilogramos de $SO_2 \rightarrow 12,95$ Tn de SO_2 .

Los vehículos diesel emitirían un total de:

$$7,65 \text{ Kg de } CO_2eq \times 916.110 = 7008241,5 \text{ Kg de } CO_2eq$$

$$7008,24 \text{ Tn de } CO_2eq \text{ al día.}$$

Emisiones totales emitidas por todos los vehículos por día:

- Dióxido de carbono: $15169,3$ Tn de $CO_2/día$.
- Vapor de agua: $14072,95$ Tn de $H_2O/día$.
- Monóxido de carbono: $1044,25$ Tn de $CO/día$.
- Óxidos de nitrógeno: $840,143$ Tn de $NO_x/día$.
- Dióxido de azufre: $12,95$ Tn de $SO_2/día$.
- Dióxido de carbono equivalente: $15940,3125$ Tn de CO_2eq al día.

5.2. Consumo energético. Eficiencia.

En este apartado se procederá al cálculo del consumo energético de un vehículo gasolina, diésel y eléctrico para contrastar datos. En este caso al obtenerse los consumos del vehículo de marca Renault en su modelo Fluence que como se ha mencionado anteriormente, tiene las tres versiones de dicho modelo. El estudio parte de un usuario particular que tuvo la oportunidad de conducir dicho coche en su versión eléctrica por la zona urbana e interurbana de la ciudad de Lisboa (Portugal) [17] para ello se tienen en cuenta los consumos de las tres versiones, en este caso como ya se ha estudiado anteriormente, se tienen los consumos de las versiones gasolina y diésel:

- Consumo versión gasolina: $7,6$ l/100 km
- Consumo versión diésel: $5,7$ l/100 km
- Consumo versión eléctrica: $18,5$ kWh/100 km

Para saber qué cantidad de energía necesita cada vehículo para recorrer 100 kilómetros, se ha de tener en cuenta el valor energético de cada combustible expresado en Megajulios, en este caso será de la gasolina, el diésel y la energía eléctrica:

- Valor energético de la gasolina: 1 litro → 32,18 MJ – 34,78 MJ [18].
- Valor energético del diésel: 1 litro → 35,86 MJ – 38,65 MJ [19].
- Valor energético de la energía eléctrica: 1 kWh → 3,6 MJ [20].

Ahora bien, se procede a calcular la cuantía energética que necesita cada vehículo para recorrer 100 kilómetros:

- Para la versión gasolina:

$$32,18 \text{ MJ} - 34,78 \text{ MJ} \times 7,6 \text{ litros} = 244,57 \text{ MJ}/100 \text{ km} - 264,33 \text{ MJ}/100 \text{ km}$$

La versión gasolina necesita una energía media de 254,45 MJ para recorrer 100 kilómetros.

- Para la versión diésel:

$$35,86 \text{ MJ} - 38,65 \text{ MJ} \times 5,7 \text{ litros} = 204,4 \text{ MJ}/100 \text{ km} - 220,3 \text{ MJ}/100 \text{ km}$$

La versión diésel necesita una energía media de 212,35 MJ para recorrer 100 kilómetros.

- Para la versión eléctrica:

$$3,6 \text{ MJ} \times 18,5 \text{ kWh} = 66,6 \text{ MJ}/100 \text{ km}$$

La versión eléctrica necesita una energía de 66,6 MJ para recorrer 100 kilómetros.



Imagen 6: Renault Fluence eléctrico. Fuente: Renault.

Para ello, en primer lugar, se va a obtener el consumo de energía que se ahorraría:

Con la actual flota de vehículos en la ciudad de Madrid, el consumo de energía diario sería:

- Vehículos gasolina: $916.110 \times (254,45 \text{ MJ} \div 2) = 116.552.094,8 \text{ MJ}$
- Vehículos diésel: $916.110 \times (212,35 \text{ MJ} \div 2) = 97.267.979,25 \text{ MJ}$

En total, la suma de los vehículos gasolina y diésel es de 213.820.074,1 MJ al día.

Mientras que con una flota de vehículos eléctricos sería:

- Vehículos eléctricos: $1.832.220 \times (66,6 \text{ MJ} \div 2) = 61.012.926 \text{ MJ al día.}$

Los vehículos de combustión gastan hasta 3,5 veces más energía que un eléctrico, lo que se traduce en un ahorro energético del 71,46%.

5.3. Impacto económico.

Sustituyendo la actual flota de vehículos de combustión por vehículos eléctricos, se consumiría 3,5 veces menos de energía, además de no emitir una gran cantidad de gases de efecto invernadero y nocivos para la salud. Estos datos dan también la posibilidad del ahorro económico, que se calculará a continuación [21]:



Imagen 7: precios de los combustibles fósiles. Fuente: El País.

- Consumo económico vehículos gasolina:

$$1 \text{ vehículo} \rightarrow 1,229 \text{ €/litro} \times 3,8 \text{ litros} = 4,6702 \text{ €}$$

$$916.110 \text{ vehículos} \rightarrow 4,6702 \text{ €} \times 916.110 = 4.278.416,922 \text{ €}$$

- Consumo económico vehículos diésel:

$$1 \text{ vehículo} \rightarrow 1,119 \text{ €/litro} \times 2,85 \text{ litros} = 3,19 \text{ €}$$

$$916.110 \text{ vehículos} \rightarrow 3,19 \text{ €} \times 916.110 = 2.921.612,2 \text{ €}$$

El coste total de todos los desplazamientos diarios es:

$$4.278.416,922 \text{ €} + 2.921.612,2 \text{ €} = 7.200.029,12 \text{ €}$$

7.200.029,12 € es la cantidad de dinero que gastan todos los ciudadanos que circulan diariamente por Madrid, a una media de 3,93 € por ciudadano.

Si por el contrario fuera mediante vehículos eléctricos (el dato del coste del kWh es el obtenido de la red suministrado por la empresa Iberdrola para una tarifa fija) [22]:

$$\text{Precio kWh: } 0,140504 \text{ €/kWh}$$

$$1 \text{ vehículo} \rightarrow \left(18,5 \frac{\text{kWh}}{2}\right) \times 0,140504 \text{ €/kWh} = 1,3 \text{ €}$$

$$1.832.220 \text{ vehículos} \rightarrow 1.832.220 \times 1,3\text{€} = 2.381.886\text{€}$$

Los vehículos eléctricos consumirían 2.381.866 €, por lo que sustituyendo la flota actual de vehículos de combustión por vehículos eléctricos habría un ahorro de 4.818.143,12 €, a una media de 1,3 € por ciudadano. Con vehículos eléctricos se ahorraría hasta 3 veces más, lo que equivale a un ahorro económico del 33,08%.

5.4. Instalación Solar Fotovoltaica.

Para comenzar el desarrollo de la instalación solar fotovoltaica, primero ha de analizarse el consumo energético necesario, en este caso es de $61.012.926 \text{ MJ}$ y a raíz de este dato dimensionar una instalación para cubrir dicho consumo. A partir de aquí, se escoge una zona donde se realizará la instalación, se obtienen las coordenadas geográficas y mediante la aplicación web PVGIS, se obtiene el nivel de irradiancia y la energía que produciría el módulo escogido. Una vez realizado esto se puede comprobar la energía media por día producida por el módulo fotovoltaico y de este modo obtener el número de módulos necesarios.

$$3,6 \text{ MJ} \rightarrow 1 \text{ kWh}$$

$$61.012.926 \text{ MJ} \rightarrow 16.948.035 \text{ kWh}$$

5.4.1. Módulo fotovoltaico.

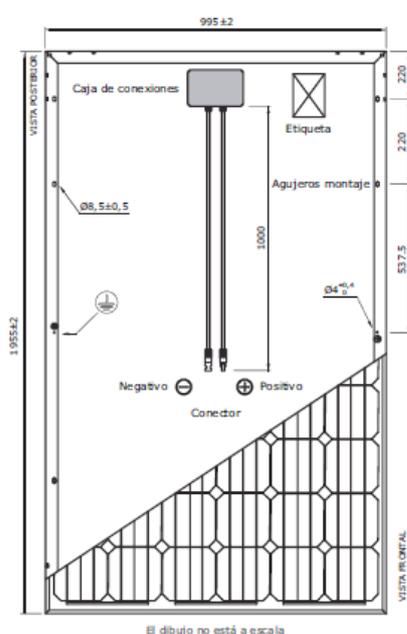
El módulo escogido es el del fabricante Atersa, cuyo modelo A-320M GSE, cuyas características son las siguientes:

Características eléctricas

Potencia Máxima (Pmax)	320 W
Tensión Máxima Potencia (Vmp)	38.64 V
Corriente Máxima Potencia (Imp)	8.29 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	46.70 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	8.81 A
Eficiencia del Módulo (%)	16.43
Tolerancia de Potencia (W)	0/+5
Máxima Serie de Fusibles (A)	15
Máxima Tensión del Sistema	DC 1000 V (IEC) / DC 600 V (UL)
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (°C)	46±2

Características eléctricas medidas en Condiciones de Test Standard (STC), definidas como: Irradiación de 1000 w/m^2 , espectro Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

Vista genérica construcción módulo



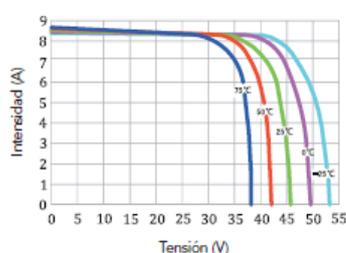
Características de temperatura

Coef. Temp. de Isc (TK Isc)	0.09% /°C
Coef. Temp. de Voc (TK Voc)	-0.32% /°C
Coef. Temp. de Pmax (TK Pmax)	-0.41% /°C
Temperatura de Funcionamiento	-40 a +85 °C

Embalaje

Módulos/palé	20 pz as
Palés/contenedor 40'	22 pz as
Módulos/contenedor 40'	440 pz as

Temperatura Varía (A-300M GSE)



Irradiación Varía

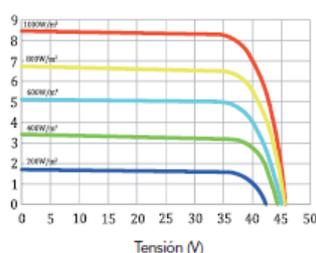


Imagen 8: Características del módulo Atersa A-320M GSE. Fuente: Atersa.

5.4.2. Ubicación.

Dadas las características del módulo fotovoltaico, se introducen sus parámetros en la herramienta web PVGIS en la ubicación que interese en este caso, las coordenadas geográficas son:

	Sexagesimal	Decimal	UTM
Longitud	40° 26' 2.92" N	40.4341436	450398.7
Latitud	3° 35' 5.3" W	-3.5848045	4476108-9 30° Hemisferio Norte

Tabla 2: Coordenadas geográficas de la instalación fotovoltaica.



Imagen 9: Ubicación instalación fotovoltaica. Fuente: Google maps.

Una vez seleccionado el lugar de la instalación fotovoltaica, mediante la herramienta PVGIS se procede a calcular la energía producida por un módulo fotovoltaico:

Sistema fijo: inclinación=30 grados, orientación=0 grados				
Mes	Ed	Em	Hd	Hm
Ene	0.86	26.5	3.29	102
Feb	1.15	32.1	4.48	125
Mar	1.40	43.4	5.69	176
Abr	1.42	42.7	5.91	177
Mayo	1.51	46.8	6.41	199
Jun	1.64	49.1	7.08	212
Jul	1.74	53.8	7.67	238
Ago	1.67	51.7	7.31	227
Sep	1.48	44.5	6.33	190
Oct	1.21	37.5	4.96	154
Nov	0.93	27.8	3.65	109
Dic	0.83	25.8	3.20	99.3
Año	1.32	40.1	5.50	167
Total para el año		482		2010

Ed: Producción de electricidad media diaria por el sistema dado (kWh)

Em: Producción de electricidad media mensual por el sistema dado (kWh)

Hd: Media diaria de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado (kWh/m²)

Hm: Suma media de la irradiación global por metro cuadrado recibida por los módulos del sistema dado (kWh/m²)

Imagen 10: Datos de producción eléctrica e irradiancia. Fuente: PVGIS.

La media de producción diaria es de 1,32 kWh, por tanto, para obtener el número de módulos fotovoltaicos se debe hallar la división entre la energía que se consume en un día por la media generada en un día:

$$n^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{\text{Energía consumida (kWh)}}{\text{Energía producida por 1 módulo (kWh)}} =$$

$$= \frac{16.948.035 \text{ kWh}}{1,32 \text{ kWh}} = 12.839.420,45 \approx 12.839.420 \text{ módulos fotovoltaicos}$$

Sabiendo que el área total de la instalación es de 1,49 Km² y que el área de un módulo fotovoltaico es de:

$$A_{\text{módulo}} = 1,955 \text{ m} \times 0,995 \text{ m} = 1,945 \text{ m}^2 \times 10^{-6} = 1,945 \times 10^{-6} \text{ Km}^2.$$

$$A_{\text{Total módulos}} = A_{\text{módulo}} \times n^{\circ} \text{ de módulos} =$$

$$= 1,945 \times 10^{-6} \text{ Km}^2 / \text{módulo} \times 12.839.420 \text{ módulos} = 24,97 \text{ Km}^2 > 1,49 \text{ Km}^2.$$

Dado que el factor limitante es la superficie, por la gran cantidad de espacio requerido para módulos fotovoltaicos y como no es objetivo de este trabajo fin de máster, se ceñirá solamente a la superficie inicialmente establecida.

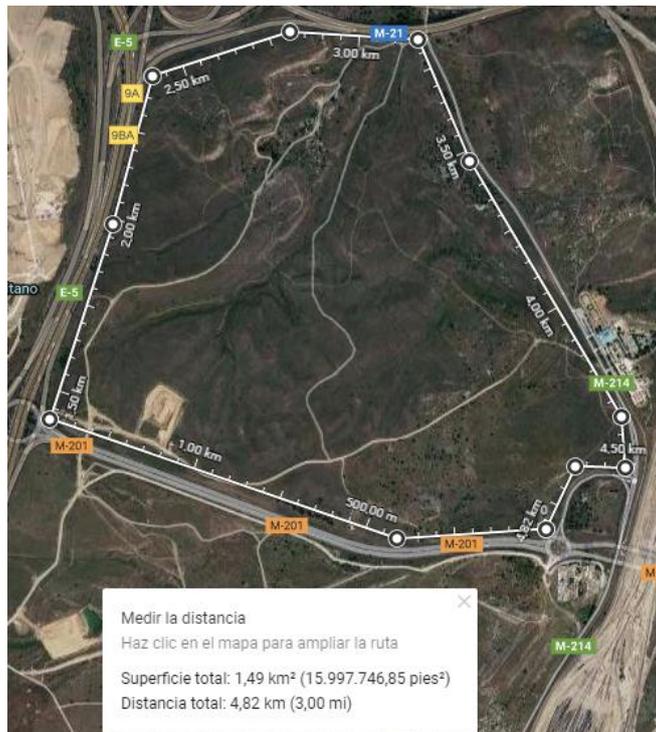


Imagen 11: Zona de la instalación solar fotovoltaica. Fuente: Google maps.

5.4.3. Pérdidas de la instalación.

- Mapa de irradiancia:

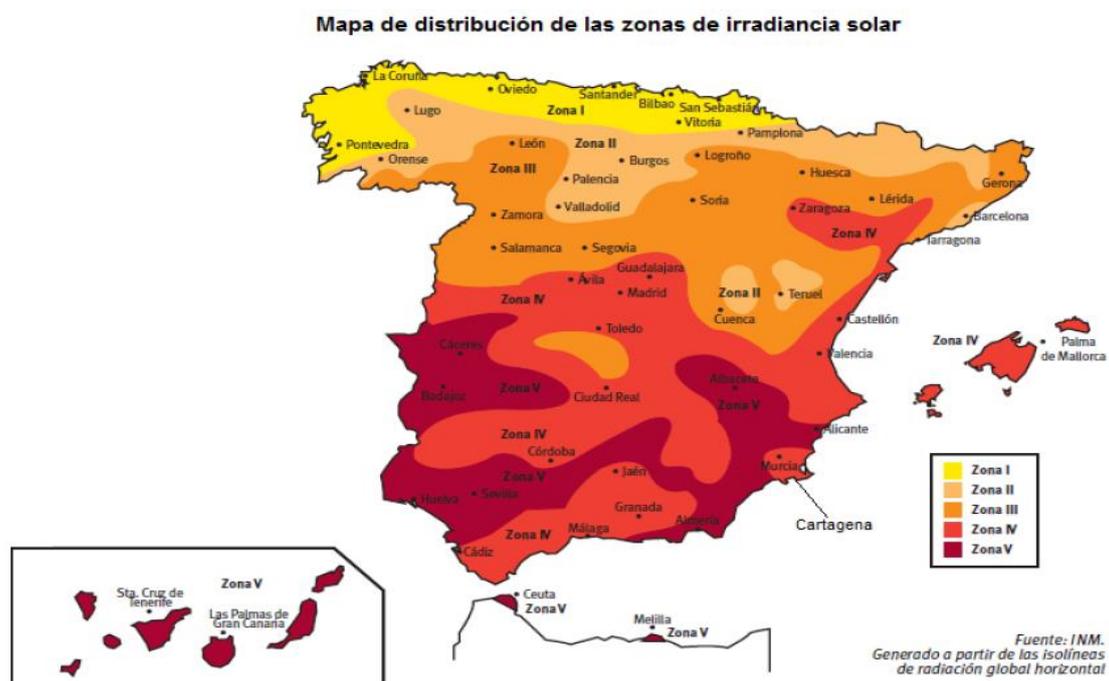


Imagen 12: Mapa de irradiancia de España. Fuente: IDAE.

- Para una inclinación $\beta = 30^\circ$, un acimut $\alpha = 0^\circ$ y latitud $\phi = 40^\circ$ se tiene que:

$$P\acute{e}rdid\acute{a}s (\%) = 100 \times [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \phi + 10)^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \alpha^2] \text{ para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

$$P\acute{e}rdid\acute{a}s (\%) = 100 \times [1,2 \times 10^2 \times (30 - 40 + 10)^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times 0^2] = 0 \%$$

No hay pérdidas por orientación e inclinación, para verificar dicho resultado se recurre a la siguiente imagen donde se verifica que esas pérdidas obtenidas están dentro de los intervalos correctos:

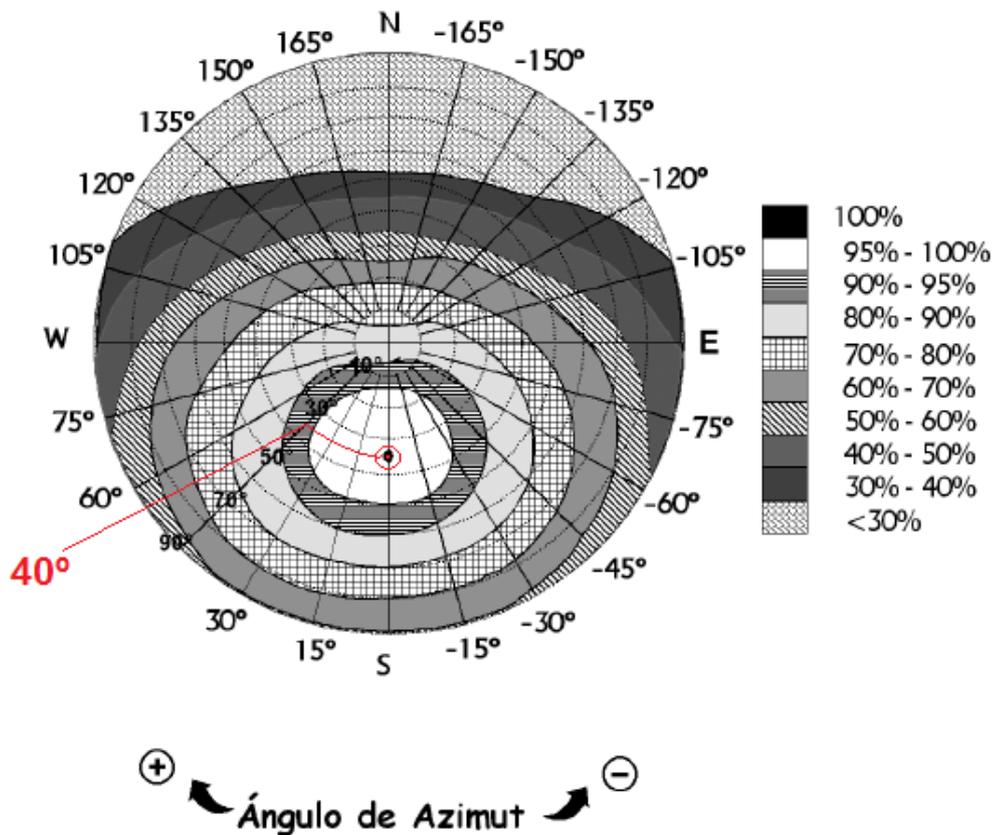


Imagen 13: Pérdidas por orientación e inclinación. Fuente: IDAE.

Al haber ausencia de obstáculos cercanos no es necesario calcular pérdidas por sombra por lo que el perfil de obstáculos quedaría de la siguiente manera:

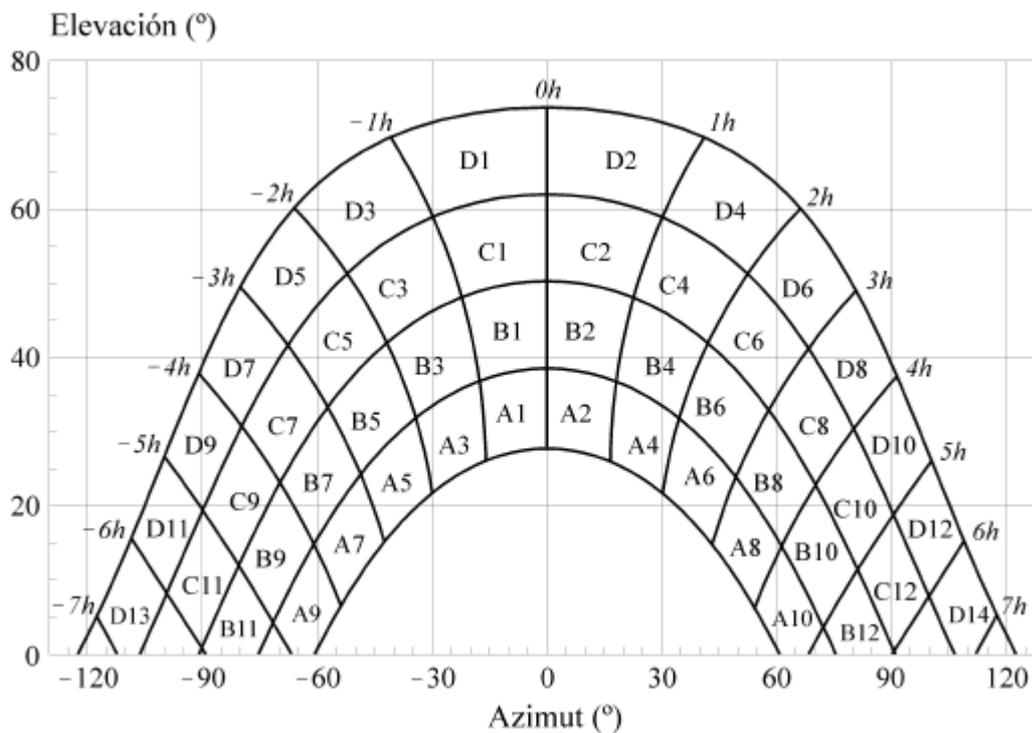


Imagen 14: Perfil de obstáculos. Fuente: IDAE.

Por tanto, las pérdidas totales por orientación, inclinación y por sombras son:

$$Pérdidas Totales = Pérdidas por orientación e inclinación + Pérdidas por sombras$$

$$Pérdidas Totales = 0 \%$$

El rendimiento de la instalación será:

$$\eta_{Instalación} = 100\%$$

Tabla 2.2 Pérdidas límite

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Imagen 15: Pérdidas máximas permitidas. Fuente: IDAE.

5.4.4. Temperaturas de las células para la selección de inversor.

Según el fabricante de los módulos fotovoltaicos utilizados, los valores de coeficientes de temperatura (α y β) se encuentran en unidades de $\%/^{\circ}\text{C}$ y por tanto hay que convertir dichas unidades en función de $\text{A}/^{\circ}\text{C}$ y $\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

$$\alpha = \frac{\alpha \left(\frac{\%}{^{\circ}\text{C}}\right)}{100} \times I_{SC} = \frac{0,09}{100} \times 8,81 = 7,929 \text{ A}/^{\circ}\text{C}$$

$$\beta = \frac{\beta \left(\frac{\%}{^{\circ}\text{C}}\right)}{100} \times V_{OC} = \frac{-0,32}{100} \times 46,7 = -0,149 \text{ V}/^{\circ}\text{C}$$

$$V_{mpp} = 0,76 \times (-0,149) = -0,113 \text{ V}/^{\circ}\text{C}$$

Una vez obtenidos los valores de los coeficientes de temperatura en función de intensidad y tensión, se calcularán las temperatura de las células fotovoltaicas y su tensión de circuito abierto e intensidad de cortocircuito en temperaturas extremas que corresponderán con el invierno (temperatura más baja) y verano (temperatura más alta).

Como se ha dicho anteriormente, la instalación fotovoltaica se encuentra en el municipio de Madrid donde la temperatura mínima es de -8°C y la máxima de 45°C (datos consultados por la Agencia Estatal de Meteorología www.aemet.es)

- Invierno:

$$T_a = T_a + \left(\frac{T_{ONC} - 20}{800}\right) \times I = -8 + \left(\frac{47 - 20}{800}\right) \times 100 = -4,625^{\circ}\text{C}$$

$$V_{OC(-4,625^{\circ}\text{C})} = V_{OC(25^{\circ})} + \Delta V_{OC} \times \beta = 46,7 + (-4,625 - 25) \times (-0,149) = 51,11 \text{ V}$$

$$I_{SC} = I_{SC(25^{\circ}\text{C})} + \Delta T \times \Delta I_{SC} \times \alpha = 8,81 + (-4,625 - 25) \times 7,929 \times 10^{-3} = 8,57 \text{ A}$$

$$V_{mpp(8,375^{\circ}\text{C})} = 38,64 + (-4,625 - 25) \times (-0,113) = 41,98 \text{ V}$$

- Verano:

$$T_a = T_a + \left(\frac{T_{ONC} - 20}{800}\right) \times I = 5 + \left(\frac{47 - 20}{800}\right) \times 1000 = 78,75^{\circ}\text{C}$$

$$V_{OC(78,75^{\circ}\text{C})} = V_{OC(25^{\circ})} + \Delta V_{OC} \times \beta = 46,7 + (78,75 - 25) \times (-0,149) = 38,7 \text{ V}$$

$$I_{SC} = I_{SC(25^{\circ}\text{C})} + \Delta T \times \Delta I_{SC} \times \alpha = 8,81 + (78,75 - 25) \times 7,929 \times 10^{-3} = 9,23 \text{ A}$$

$$V_{mpp(8,375^{\circ}\text{C})} = 38,64 + (78,75 - 25) \times (-0,113) = 32,56 \text{ V}$$

Una vez hallados los datos de tensiones de circuito abierto, tensiones de pico y de intensidades en cortocircuito tanto en verano como en invierno, se procede a la selección y verificación de los inversores seleccionados, en este caso es el del fabricante Ingeteam cuyo modelo 10TL. Se recuerda que la distribución de los módulos fotovoltaicos es de 16 filas por 2 columnas por lo que se tienen 32 módulos por inversor.

		10TL	
Input (DC)			
Recommended PV array power range ⁽¹⁾	10 - 13.4 kW		
Voltage range MPP ⁽²⁾			
Min. voltage for P _{nom} at rated V _{ac}			
Maximum voltage ⁽³⁾			
Maximum current ⁽⁴⁾	19 A		
Inputs with terminal blocks			
Inputs with PV connectors ⁽⁵⁾	-		
MPPT			
Output (AC)			
Rated power	10 kW		
Max. temperature at rated power ⁽⁶⁾	55 °C		
Maximum current	15 A		
Rated voltage			
Voltage range	187 - 528 V		
Frecuency			
Power Factor			
Power Factor adjustable ⁽⁷⁾	Yes. S _{max} =10 kVA; Q _{max} =10 kVAR		
Efficiency			
Maximum efficiency	98.5%		
Euroefficiency	98.3%		
General Information			
Refrigeration system	Forced ventilation		
Air flow	200 m ³ /h	200 m ³ /h	400 m ³ /h
Stand-by consumption ⁽⁸⁾	10 W		
Consumption at night	1 W		
Ambient temperature	-25 °C to 65 °C		
Relative humidity (non-condensing)	0 - 100%		
Protection class	IP65		
Marking	CE		
EMC and security standards	EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-6-4, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12, EN 62109-1, EN 62109-2, IEC62103, EN 50178, FCC Part 15, AS3100		
Grid connection standards	RD1699/2011, DIN V VDE V 0126-1-1, EN 50438, CEI 0-16 Ed. III, CEI 0-21, VDE-AR-N 4105:2011-08, G59/2, G83/2 ⁽⁹⁾ , P.O.12.3, AS4777.2, AS4777.3, IEC 62116, IEC 61727, UNE 206007-1, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150, South African Grid code, Chilean Grid Code, Romanian Grid Code, Ecuadorian Grid Code, Peruvian Grid code, IEEE 929, Thailand MEA & PEA requirements, DEWA (Dubai) Grid Code, Jordan Grid Code		

Imagen 16: Características del inversor. Fuente: Ingeteam.

Temperatura	V_{mpp}	V_{oc}	I_{sc}
-8°C	$40,52 \times 16 = 648,32 V$	$51,11 \times 16 = 817,76 V$	$8,57 \times 2 = 17,14 A$
45°C	$32,56 \times 16 = 520,96 V$	$38,7 \times 16 = 619,2 V$	$9,23 \times 2 = 18,46 A$
25°C	$38,64 \times 16 = 618,24 V$	$46,7 \times 16 = 747,2 V$	$8,81 \times 2 = 17,62 A$
Inversor	560 – 820 V	1000 V	19 A

Tabla 3: Verificación del inversor seleccionado.

La distribución será de 32 módulos en total de los cuales 16 en serie y 2 ramas en paralelo.

5.4.5. Número de módulos y de inversores.

Para el cálculo de número de módulos final es necesario calcular la distancia entre los mismos y para ello el área que ocupa un grupo de 32 módulos.

$$h = L \times \sin \beta = 0,995 \times \sin 30 = 0,4975 m$$

$$a = L \times \cos \beta = 0,995 \times \cos 30 = 0,8612 m$$

$$d = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})} = \frac{0,4975}{\tan(61 - 40)} = 1,296 m$$

$$b = a + d = 0,8612 + 1,296 = 2,1572 m$$

Distancia longitudinal:

$$16 \times 1,955 = 31,28 m$$

Por lo que el área total será:

$$A_{grupo} = 31,28 \times 2,15 = 67,252 m^2$$

El número total de agrupaciones será:

$$N_{grupos} = \frac{A_T}{A_{grupo}} = \frac{1,49 \times 10^6}{67,252} = 22.155,47 \approx 22.155 \text{ grupos}$$

Por cada grupo le corresponde un inversor, así que habrá un total de 22.155 inversores.

Si cada grupo tiene 32 módulos fotovoltaicos:

$$N_{módulos} = 22.155 \times 32 = 708.960 \text{ módulos totales.}$$

La instalación estará dotada de un total de 708.960 módulos fotovoltaicos.

La potencia instalada total será:

$$P_{instalada} = N_{módulos} \times P_{módulo} = 708.960 \times 320 \text{ W} = 226.867.200 \text{ W}$$

La potencia instalada será de 227 MW aproximadamente.

5.4.6. Energía producida por la instalación.

Mediante una aplicación Excel se calcula la energía generada anual:

Mes	Días/mes	G _t (kWh/m ² /dia)	E _t (kWh/día)	E _t (kWh/mes)	
Ene	31	3,29	613488,99	19018158,60	
Feb	28	4,48	827448,64	23168561,91	
Mar	31	5,69	1031221,48	31967865,97	
Abr	30	5,91	1062046,17	31861385,05	
May	31	6,41	1132273,44	35100476,60	
Jun	30	7,08	1215257,99	36457739,63	
Jul	31	7,67	1292429,67	40065319,90	
Ago	31	7,31	1236479,57	38330866,57	
Sep	30	6,33	1095702,76	32871082,83	
Oct	31	4,96	886532,78	27482516,12	
Nov	30	3,65	669738,00	20092139,87	
Dic	31	3,20	596190,99	18481920,66	
Media anual:		5,50	971567,54	29574836,14	
Total anual:				354898033,73	kWh/año

Tabla 4: Energía producida. Fuente: Apuntes de clase.

Se generaría un total de 354898033,73 kWh/año

Sabiendo que los módulos fotovoltaicos tienen de media un coeficiente de degradación de un 0,8% por cada año. En un periodo de 20 años la energía producida será la mostrada en la siguiente tabla:

Año	Energía generada	
	kWh/año	kWh (acumulado a la fecha)
0	354898033,7	354898033,73
1	352058849,5	706956883,2
2	349242378,7	1056199262
3	346448439,6	1402647701
4	343676852,1	1746324554
5	340927437,3	2087251991
6	338200017,8	2425452009
7	335494417,7	2760946426
8	332810462,3	3093756889
9	330147978,6	3423904867
10	327506794,8	3751411662
11	324886740,4	4076298403
12	322287646,5	4398586049
13	319709345,3	4718295394
14	317151670,6	5035447065
15	314614457,2	5350061522
16	312097541,6	5662159064
17	309600761,2	5971759825
18	307123955,1	6278883780
19	304666963,5	6583550744
20	302229627,8	6885780371
TOTAL	6.885.780.371	

Tabla 5: Energía producida durante los próximos 20 años. Fuente: Apuntes de clase.

La energía generada de media al año es de 344 GWh y durante los 20 años siguientes es de 6,88 TWh.

5.4.7. Número de vehículos eléctricos alimentados por energía fotovoltaica.

Para saber cuántos vehículos eléctricos se alimentarían de esta energía hay que tener en cuenta el factor de frecuencia de uso del vehículo, lo cual depende como se menciona en la metodología, del día de la semana, si es festivo o no y el mes, por lo tanto se obtiene la siguiente frecuencia de uso:

Día de la semana	Factor de frecuencia de uso
Lunes	100%
Martes	100%
Miércoles	100%
Jueves	100%
Viernes	100%
Sábado	80%
Domingo/Festivo	50%

Tabla 5: Frecuencia según los días de la semana. Fuente: REE.

Factor de frecuencia de uso según el día de la semana:

$$F_{uso} = \frac{L + M + X + J + V + S + D}{7} = \frac{630}{7} = 90\% = 0,9$$

Considerando los días del mes de agosto como festivos, debido a las vacaciones y según el calendario laboral de Madrid, se puede determinar el siguiente factor de frecuencia de uso:

$$F_{uso} = 1 - \frac{N_{festivos}}{N_{días\ del\ año}} = 1 - \frac{43}{365} = 88,22\% = 0,8822$$

Ambos valores son muy próximos, por lo que se puedes escoger cualquiera.

Por tanto, si en un trayecto de un día, según los datos calculados en el apartado de consumo:

$$1 \text{ vehículo eléctrico} \rightarrow 18,5 \text{ kWh}/100 \text{ Km en } 50 \text{ Km} \rightarrow 9,25 \text{ kWh}$$

Durante un año:

$$1 \text{ vehículo eléctrico} \rightarrow 9,25 \text{ kWh} \times 365 \times 0,8822 = 2978,53 \text{ kWh/año}$$

El número de vehículos alimentados sería:

$$N_{EV} = \frac{E_{FV}}{E_{EV}} = \frac{354898033,73}{2978,53} = 119.152,07 \approx \mathbf{119.152 \text{ vehículos eléctricos serían alimentados por la instalación solar fotovoltaica.}}$$

Una vez sabido esto, se puede calcular el número de vehículos eléctricos que serían cargados con la energía generada durante 20 años:

Año	kWh/año	Nº vehículos eléctricos alimentados
0	354898033,7	119152
1	352058849,5	118199
2	349242378,7	117253
3	346448439,6	116315
4	343676852,1	115385
5	340927437,3	114462
6	338200017,8	113546
7	335494417,7	112638
8	332810462,3	111736
9	330147978,6	110843
10	327506794,8	109956
11	324886740,4	109076
12	322287646,5	108204
13	319709345,3	107338
14	317151670,6	106479
15	314614457,2	105627
16	312097541,6	104782
17	309600761,2	103944
18	307123955,1	103113
19	304666963,5	102288
20	302229627,8	101469
TOTAL		2311805

Tabla 6: Número de vehículos eléctricos alimentados durante 20 años.

Un total de 2.311.805 vehículos eléctricos podrían ser cargados durante 20 años a una media de 115.590,25 vehículos cargados por cada año, es decir, el 6,3% de la flota de vehículos para los primeros años, ya que el vehículo eléctrico empieza a implantarse en la ciudad de Madrid con la instalación de puntos de recarga, actualmente la capital de España cuenta con un total de 310 puntos repartidos por toda la ciudad [23] y con empresas de alquiler como CarToGo o EMov.

5.4.8. Emisiones evitadas.

Conocidos los valores de energía generada y de vehículos eléctricos cargados por la instalación solar fotovoltaica diseñada, se pueden calcular los gases, medidos en kilogramos, que no han sido emitidos:

AÑO	Emisiones evitadas		
	Kg CO ₂ eq	g SO _x	g NO _x
0	333795522,7	271180086,7	3715873146
1	331125763,6	269011137,6	3686152897
2	328475614,5	266858119,9	3656650950
3	325847876,8	264723309,6	3627398491
4	323242550,5	262606706,6	3598395520
5	320656834,3	260506035	3569610850
6	318090728	258421294,8	3541044483
7	315547033,1	256354762	3512727604
8	313020146,7	254301884,7	3484597840
9	310518473,2	252269490,6	3456748751
10	308033608,3	250250752,1	3429086777
11	305568353,3	248247944,9	3401643105
12	303125509,7	246263345,1	3374448921
13	300699474,7	244292400,8	3347441854
14	298293049,7	242337388	3320653088
15	295906234,7	240398306,5	3294082624
16	293539029,6	238475156,5	3267730462
17	291191434,5	236567937,9	3241596602
18	288863449,4	234676650,7	3215681044
19	286552272,9	232799019	3189952601
20	284257904,9	230935042,8	3164411275
TOTAL	6476350865	5261476772	72095928883

Tabla 7: Emisiones evitadas. Fuente: Apuntes de clase.

Un total de 6.476.350,865 toneladas de dióxido de carbono equivalente, de óxidos de azufre serán 5.261,47 toneladas y de óxidos de nitrógeno serán 72.095,93 toneladas, dejarían de emitirse en la ciudad de Madrid.

5.4.9. Ahorro económico.

Sabiendo el número de coches que se utilizan durante esos 20 años, se puede saber cuánto gasto económico supondría en caso de estar conectado a red y su diferencia frente al modelo actual de motor de combustión.

AÑO	Coste de la energía de los vehículos			
	Número de vehículos	Coste vehículo eléctrico (€/año)	Coste vehículo de combustión (€/año)	Diferencia
0	119152	49877491,89	150783494,7	-100906002,8
1	118199	49478562,38	149577500,1	-100098937,7
2	117253	49082563,09	148380363,8	-99297800,71
3	116315	48689912,63	147193351,3	-98503438,63
4	115385	48300611	146016462,5	-97715851,49
5	114462	47914239,6	144848432	-96934192,43
6	113546	47530798,43	143689259,9	-96158461,44
7	112638	47150706,09	142540211,5	-95389505,39
8	111736	46773125,37	141398755,9	-94625630,56
9	110843	46399312,09	140268689,6	-93869377,53
10	109956	46028010,43	139146216,1	-93118205,71
11	109076	45659639	138032601	-92372961,97
12	108204	45294616,4	136929109,6	-91634493,17
13	107338	44932105,42	135833211	-90901105,58
14	106479	44572524,67	134746170,7	-90173646,06
15	105627	44215874,15	133667988,8	-89452114,62
16	104782	43862153,85	132598665,1	-88736511,25
17	103944	43511363,78	131538199,7	-88026835,96
18	103113	43163503,94	130486592,7	-87323088,74
19	102288	42818155,72	129442578,5	-86624422,73
20	101469	42475319,13	128406157,1	-85930837,93
TOTAL		967.730.589	2.925.524.011	-1.957.793.422

Tabla 8: Coste de la energía consumida por vehículos eléctricos, de combustión y la diferencia entre los mismos.

Durante 20 años, el gasto de energía en vehículos eléctricos será de 967.730.589 €, mientras que si mantiene el sistema actual de vehículos de combustión será de 2.925.524.011 €, habiendo un despilfarro de hasta 1.957.793.422 €.

De media anual, recargar los vehículos eléctricos será de 48.386.529,45 €, llenar el depósito de combustible de un vehículo de combustión será de 146.276.200,6 € y la diferencia de gasto será de 97.889.671,1 €.

Si se utilizarán vehículos eléctricos el vehículo será del 66,92%.

6. Análisis de resultados.

6.1. Análisis de los puntos o estaciones meteorológicas situadas en Madrid sobre las concentraciones de óxidos de nitrógeno.

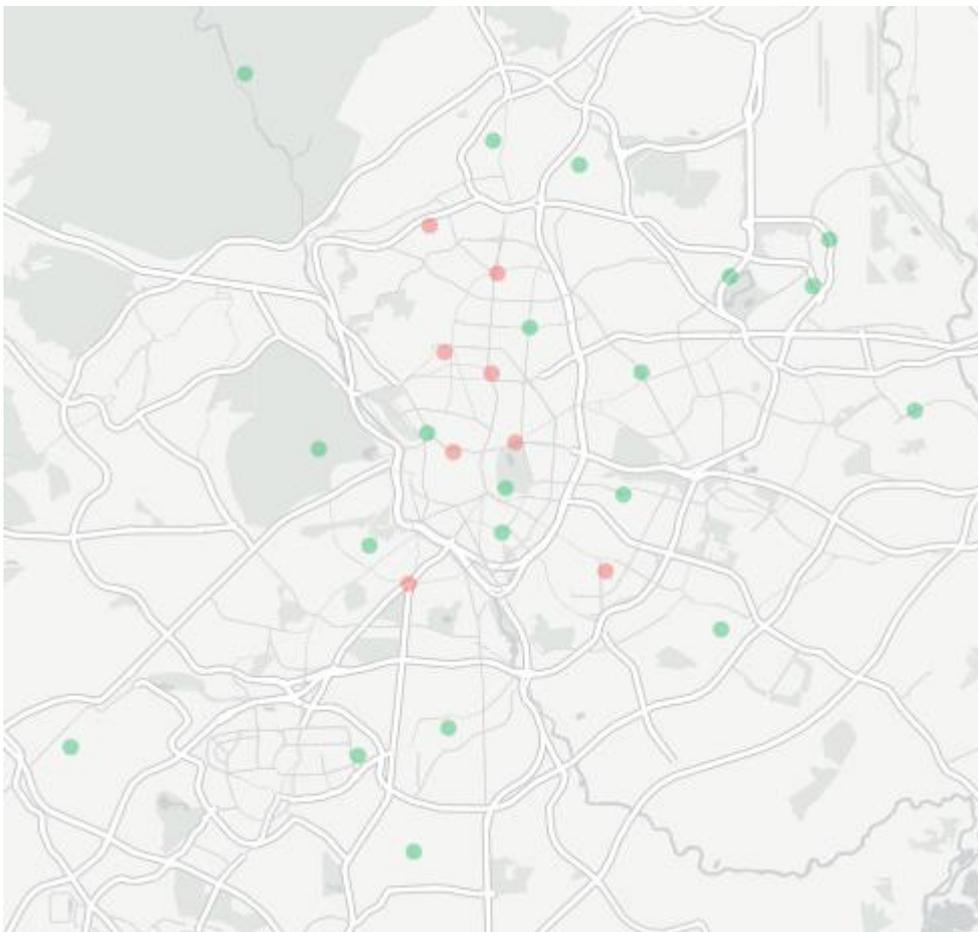


Imagen 17: Mapa de los puntos analizados de la ciudad de Madrid.

El color verde indica valor inferior a la media europea y el color rojo indica que el valor es superior a la media europea [24].

Puntos analizados:

1. ESTACIÓN

Barrio del Pilar (a las afueras)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Por encima del límite anual de la UE

2. ESTACIÓN

Tres Olivos (a las afueras)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Por debajo del límite anual de la UE

3. ESTACIÓN

Sanchinarro (a las afueras)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **32 µg/m³**

Por debajo del límite anual de la UE

4. ESTACIÓN

Plaza Castilla-Canal (centro)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **44 µg/m³**

Por encima del límite anual de la UE

5. ESTACIÓN

Barajas – Pueblo (a las afueras)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **31 µg/m³**

Por debajo del límite anual de la UE

6. ESTACIÓN

Urbanización Embajada (a las afueras)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **37 µg/m³**

Por debajo del límite anual de la UE

7. ESTACIÓN

Juan Carlos I (a las afueras)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **20 µg/m³**

Por debajo del límite anual de la UE

8. ESTACIÓN

Ramón Y Cajal (centro)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **38 µg/m³**

Por debajo del límite anual de la UE

9. ESTACIÓN

Cuatro Caminos-Pablo Iglesias (centro)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **42 µg/m³**

Por encima del límite anual de la UE

10. ESTACIÓN

Paseo de la Castellana (centro)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **40 µg/m³**

Por encima del límite anual de la UE

11. ESTACIÓN

Arturo Soria (a las afueras)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **36 µg/m³**

Por debajo del límite anual de la UE

12. ESTACIÓN

Casa de Campo (a las afueras)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Por debajo del límite anual de la UE

13. ESTACIÓN

Plaza de España (centro)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Por debajo del límite anual de la UE

14. ESTACIÓN

Plaza del Carmen (centro)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Por encima del límite anual de la UE

15. ESTACIÓN

Escuelas Aguirre (centro)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Por encima del límite anual de la UE

16. ESTACIÓN

Retiro (centro)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Por debajo del límite anual de la UE

17. ESTACIÓN

Mortalaz (a las afueras)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Por debajo del límite anual de la UE

18. ESTACIÓN

Mendez Álvaro (centro)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Por debajo del límite anual de la UE

19. ESTACIÓN

Farolillo (a las afueras)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Por debajo del límite anual de la UE

20. ESTACIÓN

Fernandez Ladreda-Oporto (a las afueras)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Por encima del límite anual de la UE

21. ESTACIÓN

Puente de Vallecas (a las afueras)

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: **43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Por encima del límite anual de la UE

Hay un total de 21 puntos o estaciones en las que se toman dichas medidas en las cuales un total de 7 de ellas se superan los límites medios de la Unión Europea, mientras que los 14 restantes, los niveles de dióxido de nitrógeno se encuentran por debajo. En las 9 estaciones del centro, sólo en 4 de ellas se superan los niveles con respecto a la media europea y en las 12 estaciones que se encuentran a las afueras, sólo se superan en 3 de ellas.

Lo que se puede obtener a raíz de estos datos es que el transporte por carretera es la principal fuente de emisión. En las zonas urbanas de Madrid existen problemas de calidad del aire especialmente relacionados con los óxidos de nitrógeno, por ello en un estudio de A. Soret, M. Guevara [25], se sostiene que electrificando hasta un 40% de la flota de vehículos, se observan reducciones de entre el 11% y el 17% de óxido de nitrógeno. Por lo que la electrificación de la flota mejoraría notablemente las emisiones asociadas y concluyen sosteniendo que no sólo la electrificación de los vehículos es la única solución, sino que además se deben de tener en cuenta estrategias de gestión desde las instituciones públicas.

6.2. Comparación si la energía procede del mix energético actual.

Teniendo en cuenta que si la energía generada procede de la red eléctrica, ha de tenerse en cuenta el último año de producción ya que es del que se disponen los datos [26]:

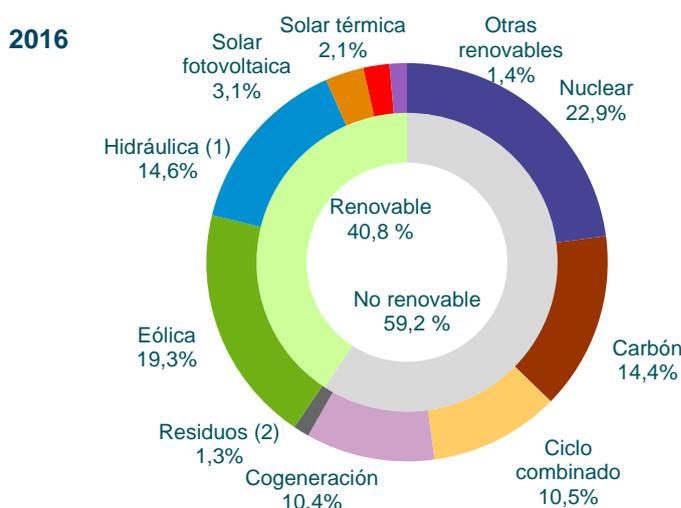


Imagen 18: Mix de energía producida en España en 2016. Fuente: REE.

Dado que el mix energético peninsular producido durante 2016 fue para el dióxido de carbono de $308 \text{ g } CO_2eq/kWh$, de dióxido de azufre fue de $0,504 \text{ g } SO_2/kWh$ y de óxidos de nitrógeno fue de $0,374 \text{ g } NO_x/kWh$ [27].

AÑO	Emisiones del mix energético español		
	Kg CO ₂ eq	g SO _x	g NO _x
0	109308594,4	178868609	132731864,6
1	108434125,6	177437660,1	131670009,7
2	107566652,6	176018158,9	130616649,6
3	106706119,4	174610013,6	129571716,4
4	105852470,5	173213133,5	128535142,7
5	105005650,7	171827428,4	127506861,6
6	104165605,5	170452809	126486806,7
7	103332280,6	169089186,5	125474912,2
8	102505622,4	167736473	124471112,9
9	101685577,4	166394581,2	123475344
10	100872092,8	165063424,6	122487541,3
11	100065116,1	163742917,2	121507640,9
12	99264595,12	162432973,8	120535579,8
13	98470478,36	161133510,1	119571295,2
14	97682714,54	159844442	118614724,8
15	96901252,82	158565686,4	117665807
16	96126042,8	157297160,9	116724480,5
17	95357034,46	156038783,7	115790684,7
18	94594178,18	154790473,4	114864359,2
19	93837424,75	153552149,6	113945444,3
20	93086725,36	152323732,4	113033880,8
TOTAL	2.120.820.354	3.470.433.307	2.575.281.859

Tabla 8: Emisiones del mix energético español. Fuente: REE, OCCO y WWF.

Con el mix energético español se emitirían 2.120.820 Tn de CO₂ equivalente, 3.470,43 Tn de SO₂ y 2.575,28 Tn de NO_x durante 20 años.

La media por año es de 106.041 Tn de CO₂ equivalente, 173,52 Tn de SO₂ y 128,76 Tn de NO_x.

Dichas emisiones no serían emitidas en la ciudad de Madrid ya que las fuentes de generación del mix energético español se encuentran fuera del entorno urbano. Las emisiones evitadas en la ciudad serían las calculadas en la tabla 7.

Comparando las emisiones producidas por el mix energético actual y las que emiten los vehículos de combustión para el mismo número de vehículos obtenido en la tabla 6 durante 20 años:

Diferencia emisiones vehículos de combustión - mix energético			
AÑO	Kg CO₂eq	g SO_x	g NO_x
0	224486928,3	92311477,69	3583141281
1	222691638	91573477,47	3554482887
2	220908961,9	90839961,07	3526034300
3	219141757,4	90113296	3497826774
4	217390080,1	89393573,11	3469860377
5	215651183,6	88678606,6	3442103989
6	213925122,5	87968485,88	3414557676
7	212214752,4	87265575,52	3387252691
8	210514524,3	86565411,7	3360126727
9	208832895,8	85874909,42	3333273407
10	207161515,5	85187327,51	3306599236
11	205503237,2	84505027,76	3280135464
12	203860914,6	83830371,3	3253913342
13	202228996,4	83158890,79	3227870558
14	200610335,2	82492945,99	3202038363
15	199004981,8	81832620,08	3176416817
16	197412986,8	81177995,53	3151005981
17	195834400,1	80529154,2	3125805917
18	194269271,3	79886177,27	3100816684
19	192714848,2	79246869,36	3076007157
20	191171179,6	78611310,37	3051377394
TOTAL	4.355.530.511	1.791.043.465	69.520.647.025

Tabla 8: Diferencia de emisiones de vehículos de combustión frente al mix energético.

En dicha tabla se recogen la diferencia de gases que serían emitidos, es decir, los gases que emiten los vehículos cuya energía procede de los combustibles fósiles frente a los gases que emiten las diversas fuentes de energía del mix energético español si a ese mismo número de vehículos alimentados fueran eléctricos. Como se puede comprobar la diferencia es positiva, por tanto, al utilizar vehículos de combustión se emiten más gases de efecto invernadero y contaminantes dañinos para la salud que si se utilizasen vehículos eléctricos alimentados por la red eléctrica.

Durante 20 años se emiten 4.355.530 Tn de CO₂ equivalente, 1.791,04 Tn de SO₂ y 69.520,64 Tn de NO_x durante 20 años.

La media por año es de 217.776,5 Tn de CO₂ equivalente, 89,55 Tn de SO₂ y 3.476 Tn de NO_x.

7. Comparación vehículos de combustión frente a eléctrico.

Con el fin de entender mejor las emisiones de los vehículos de combustión, se debe profundizar en el funcionamiento de éstos y para ello se utiliza el artículo científico de Arturo Romero Salvador [28]:

Los motores de combustión interna utilizados actualmente se dividen en dos grupos: Otto y Diesel. La combustión en estos equipos no es completa y da lugar a la formación de subproductos indeseados tales como hidrocarburos sin quemar y monóxido de carbono. Además, las impurezas del combustible dan lugar a emisiones de otros contaminantes como SO_x , y la reacción del nitrógeno con el oxígeno del aire de combustión da lugar a la formación de NO_x . Una de las diferencias fundamentales entre los motores Otto y Diesel es el método de introducir el aire y el combustible en el cilindro. Como consecuencia, dos importantes parámetros de la ingeniería automotriz, la relación aire combustible y la relación de compresión, difieren profundamente en ambos tipos de motores.

- Motores Otto:

En los motores Otto, el aire y el combustible se mezclan antes de introducirlos en el cilindro. La relación aire/combustible es siempre próxima a la estequiométrica, 14,6 en peso. Normalmente esta relación se mide con el parámetro λ que se define como la relación entre el aire introducido y el aire requerido para la combustión completa. Si la mezcla es estequiométrica, el valor de λ es la unidad. Esta mezcla aire/combustible se introduce en el cilindro para que se produzca la ignición por chispa. La presión en el cilindro antes de la ignición no es suficientemente elevada para que se produzca la autoignición de la mezcla aire/gasolina. Por ello, la máxima relación de compresión en estos motores es alrededor de 10.

- Motores diésel:

Los motores Diesel son muy diferentes a los motores Otto. En ellos, sólo se comprime el aire. Justo antes de que el pistón alcance su posición más elevada, el combustible se pulveriza en el aire comprimido. La cantidad de combustible inyectado depende de la demanda del motor. En consecuencia, y dado que la cantidad de aire en el cilindro es constante, el parámetro λ varía mucho más que en los motores Otto, entre 1,1 y 6. En los motores Diesel, la ignición no se induce por chispa; la compresión del aire en el cilindro se traduce en un incremento de temperatura, causando la autoignición del combustible. Además, como la presión máxima en el cilindro no está determinada por las propiedades del combustible sino por las restricciones de los materiales, se puede utilizar una elevada relación de compresión (20-200).

- Eficiencia:

La eficiencia medida mediante la relación entre energía mecánica y energía del combustible es mayor en los motores Diesel que en los motores Otto como consecuencia de la mayor relación de compresión, la mayor relación aire/combustible y la carencia de pérdidas por bombeo.

- Emisiones:

También la composición de los gases que salen de ambos tipos de motores tiene diferencias significativas. Puede establecerse tres grupos con las sustancias emitidas: compuestos no peligrosos, compuestos peligrosos regulados y compuestos peligrosos

no regulados. Los compuestos no peligrosos son O_2 , CO_2 , H_2O y N_2 . La concentración de oxígeno en los motores Diesel es muy superior (5-15% vol.) a la de los motores Otto (0,2-2 % vol.) como corresponde a las diferencias de operación, valores del parámetro lambda, mientras que las de CO_2 y H_2O son inferiores. Los compuestos peligrosos regulados comprenden al CO , hidrocarburos, NO_x , partículas y SO_x . Con la denominación hidrocarburos se incluyen desde hidrocarburos de bajo peso molecular (metano, etano, etileno), que son mayoritarios, hasta los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), minoritarios. Las emisiones de monóxido de carbono y de hidrocarburos son mucho menores en los motores Diesel (0,01-0,1 % vol. y 0,005-0,05 % vol) que en los Otto (0,1-6 %vol. 0,5-1 % vol.) debido a que los primeros operan con exceso de aire. También las emisiones de NO_x son menores en los Diesel (0.003-0,06 % vol.) que en los Otto (0,04- 0,4% vol.) debido a que estos contaminantes se forman por reacción entre nitrógeno y oxígeno a elevada temperatura (la temperatura de combustión es mayor en los motores Otto). Sin embargo, las emisiones de partículas son mucho más altas en los motores Diesel (20-200 mg/m³) que en los Otto (1-20 mg/m³). Las partículas Diesel se definen (US Environmental Protection Agency) como los compuestos que se retienen al hacer pasar los gases a través de un filtro a una temperatura máxima de 325K. Estas partículas están formadas por un núcleo de hollín (carbono y material inorgánico), hidrocarburos adsorbidos (SOF, fracción orgánica soluble), SO_3 , ácido sulfúrico y algo de agua. El SOF contiene hidrocarburos sin quemar (35%), compuestos oxigenados e hidrocarburos aromáticos policíclicos (20%). Dependiendo de la temperatura de los gases, estas especies están en fase gas (T 775K) o condensadas y adsorbidas en el núcleo de las partículas de hollín (T 775K). Las emisiones de SO_x (SO_2 y SO_3) dependen del contenido de azufre en el combustible. Por ejemplo, la EU establece para este elemento un límite de 0,015 % peso para gasolina y de 0,035 para diesel. Entre los compuestos peligrosos no regulados destacan aldehídos, benceno, tolueno, amoniaco, etc.

Concluyendo, el autor hace saber que desde la aparición del motor en el transporte, han ido surgiendo problemas y por tanto se han tenido que buscar soluciones, los dos más importantes son la contaminación y el consumo. Ya que la principal fuente emisora de contaminantes en las ciudades son los automóviles, y a día de hoy sigue siendo el principal problema a resolver.



Imagen 19: Contaminación visible en la ciudad de Madrid.

A raíz de estos resultados se puede concluir que los vehículos eléctricos consumen hasta casi 4 veces menos que un vehículo gasolina (3,8 veces menos) y 3 veces menos que un vehículo diésel (3,1 veces menos), por tanto, el motor eléctrico es más eficiente que un motor de combustión. A estos datos hay que tener en cuenta el peso de los vehículos en los cuales la versión eléctrica del Renault Fluence pesa aproximadamente unos 300 kilogramos más que sus homólogos gasolina y diésel, debido al peso de las baterías, lo que verifica la eficiencia y por consiguiente, el rendimiento de un motor eléctrico sobre un 90% al contrario que las versiones de combustión donde apenas llegan al 30%. Esta gran diferencia de rendimiento se debe especialmente que el motor de combustión, apenas aplica la energía de los combustibles fósiles en energía mecánica (energía del movimiento) a partir de energía química de la reacción del combustible con el oxígeno, liberando energía de movimiento, energía calorífica (en torno a un 60%) y otros compuestos que son los contaminantes que se han nombrado anteriormente.



Imagen 20: Motor de combustión.

El motor eléctrico, es un excelente convertidor de energía, ya que convierte la energía eléctrica en energía mecánica con un alto rendimiento. Funcionan con alimentación eléctrica (corriente continua o alterna, dependiendo del motor). Un motor eléctrico convierte la energía eléctrica en fuerzas de giro por medio de la acción mutua de los campos magnéticos.



Imagen 21: Motor eléctrico.

Del vehículo eléctrico cabe destacar, como se menciona anteriormente, su alto rendimiento $\eta = E_{obtenida}/E_{suministrada} > 90\%$, esto quiere decir que el motor eléctrico garantiza que más del 90% de la energía que recibe el motor, se transforma en electricidad. Otro aspecto importante a destacar es la alta entrega de par, los vehículos eléctricos son capaces de suministrar la energía que reciben de manera instantánea debido a que la electricidad se transporta mediante cables de cobre mucho más rápido que la inyección de combustible en los vehículos de combustión. A continuación se mostrarán dos gráficas de dos vehículos, uno eléctrico y el otro de combustión de prestaciones y características similares.

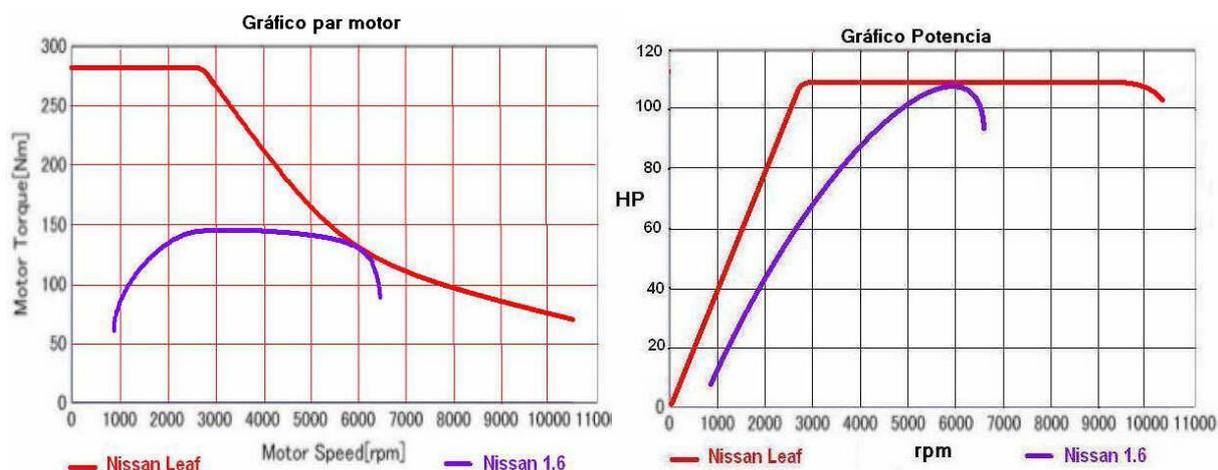


Imagen 22: Comparativa de par y potencia de vehículo eléctrico y combustión. Fuente: Nissan.

Otro aspecto a tener en cuenta del motor eléctrico que supone una ventaja comparativa respecto al motor de combustión interna es la capacidad de sobrecarga. Los motores de combustión están dimensionados para que la potencia máxima que puedan entregar sea su potencia nominal. Así, el motor de un coche convencional de 350 CV tiene que ser tan grande como para tener esa cifra de potencial nominal, aunque en la mayor parte de las situaciones de conducción cotidianas no se use ni una tercera parte de esa potencia. En cambio, un motor eléctrico admite entregar picos de potencia de hasta el doble de su potencia nominal durante periodos cortos de tiempo. Es decir, que a pesar de equipar el vehículo con un motor relativamente pequeño, un coche eléctrico va a poder disponer de una potencia elevada en ocasiones puntuales distintas a su funcionamiento normal. Por ejemplo, un coche eléctrico dotado de un motor pensado para uso urbano, sin necesidad de recurrir a grandes aceleraciones y sin carreteras de montaña en su ruta habitual, es decir, un motor sin grandes prestaciones, no va a quedarse sin poder superar un bordillo o una pendiente pronunciada en una calle de la ciudad. La capacidad de sobrecarga del motor durante esos pequeños periodos de tiempo permitirá hacer uso de picos puntuales de potencia entregada en las ruedas. Así, comparada con un vehículo de combustión, en la fase de diseño de un vehículo eléctrico no hace falta dimensionar el motor para las condiciones extremas de uso, sino solamente para las condiciones habituales o nominales. [29]

8. Conclusiones.

- Un coche de gasolina necesita hasta 3,8 veces más energía que un vehículo eléctrico para recorrer la misma distancia.
- Un coche diésel necesita 3,2 veces más energía para realizar el mismo recorrido que un vehículo eléctrico.
- El uso del vehículo eléctrico ahorra hasta un 71,46% de energía, debido a la alta eficiencia del motor (>90%).
- Un vehículo de combustión gasta 3,93 € al día, mientras que un eléctrico necesita 1,3 € al día, lo que se traduce a un ahorro del 33,08%.
- Los ciudadanos de Madrid se gastan en combustible al día 7.200.029,12 €, mientras que si utilizarán vehículos eléctricos conectados a la red eléctrica mediante una tarifa fija sería de 2.381.866 € diarios.
- El ahorro anual y durante 20 años asciende hasta el 66,92%.
- El uso del vehículo eléctrico evitaría emitir en la ciudad de Madrid 6.476.350,865 Tn CO_2 eq, 5.261,47 Tn SO_2 y 72.095,93 Tn de NO_x durante 20 años.
- Si se utilizará la red eléctrica para cargar los vehículos eléctricos, se emiten durante 20 años se emiten 2.120.820 Tn de CO_2 equivalente, 3.470,43 Tn de SO_2 y 2.575,28 Tn de NO_x durante 20 años, fuera del entorno urbano.
- La diferencia durante 20 años de las emisiones de vehículos de combustión frente a las que generarían los vehículos eléctricos recargados por la red eléctrica es: 4.355.530 Tn de CO_2 equivalente, 1.791,04 Tn de SO_2 y 69.520,64 Tn de NO_x durante 20 años.
- El vehículo eléctrico es más eficiente, más sostenible y permite realizar desplazamientos más baratos que el vehículo de combustión convencional.
- La energía generada de media al año es de 344 GWh y durante los 20 años siguientes es de 6,88 TWh libres de gases de efecto invernadero y de gases contaminantes nocivos para la salud.

9. Bibliografía.

Mart van der Kam, Wilfried van Sark - Smart charging of electric vehicles with photovoltaic power and vehicle-to-grid technology in a microgrid; a case study - *Applied Energy* 152 (2015) 20–30.

Thomas L. Gibson, Nelson A. Kelly - Solar photovoltaic charging of lithium-ion batteries - *Journal of Power Sources* 195 (2010) 3928–3932.

Jia Ying Yong, Vigna K. Ramachandaramurthy, Kang Miao Tan, N. Mithulananthan - A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49 (2015) 365–385.

Joshua Traube, *Member, IEEE*, Fenglong Lu, *Member, IEEE*, Dragan Maksimovic, *Senior Member, IEEE*, Joseph Mossoba, Matthew Kromer, Peter Faill, Stan Katz, Bogdan Borowy, Steve Nichols, and Leo Casey - Mitigation of Solar Irradiance Intermittency in Photovoltaic Power Systems With Integrated Electric Vehicle Charging Functionality - *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, VOL. 28, NO. 6, JUNE 2013 (3058).

Young-Min Wi, Jong-Uk Lee, and Sung-Kwan Joo, *Member IEEE* - Electric Vehicle Charging Method for Smart Homes/Buildings with a Photovoltaic System - Y.-M. Wi et al.: Electric Vehicle Charging Method for Smart Homes/Buildings with a Photovoltaic System (323).

Milad Falahi, *Member, IEEE*, Hung-Ming Chou, *Student Member, IEEE*, Mehrdad Ehsani, *Fellow, IEEE*, Le Xie, *Member, IEEE*, and Karen L. Butler-Purry, *Senior Member IEEE* - Potential Power Quality Benefits of Electric Vehicles - *IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY*, VOL. 4, NO. 4, OCTOBER 2013 (1016).

Morris Brenna, *Member, IEEE*, Alberto Dolara, *Student Member, IEEE*, Federica Foiadelli, *Member, IEEE*, Sonia Leva, *Senior Member, IEEE*, and Michela Longo - Urban Scale Photovoltaic Charging Stations for Electric Vehicles - *IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY*, VOL. 5, NO. 4, OCTOBER 2014 (1234).

[1] Gases de efecto invernadero - https://es.wikipedia.org/wiki/Gas_de_efecto_invernadero

[2] Gases tóxicos y/o nocivos - https://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica

[3] Dióxido de carbono - https://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_carbono

[4] Vapor de agua - https://es.wikipedia.org/wiki/Vapor_de_agua

- [5] Óxidos de nitrógeno - https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93xidos_de_nitr%C3%B3geno -
- [6] Metano - <https://es.wikipedia.org/wiki/Metano>
- [7] Ozono - <https://es.wikipedia.org/wiki/Ozono>
- [8] Monóxido de carbono - https://es.wikipedia.org/wiki/Mon%C3%B3xido_de_carbono
- [9] Clorofluorocarbonos - <https://es.wikipedia.org/wiki/Clorofluorocarbonos>
- [10] Óxidos de azufre - https://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_azufre
[https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido_de_azufre_\(VI\)](https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido_de_azufre_(VI))
- [11] - International Energy Agency, 2016.
- [12] – Thompson, Bull, 2002.
- [13] - Electricidad Solar Fotovoltaica, E. Lorenzo, 2006.
- [14] Anuario estadístico de la Comunidad de Madrid - <http://www.madrid.org/iestadis/fijas/estructu/general/anuario/ianucap09.htm> -
- [15] Composición de los gases de escape - <http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm> -
- [16] Consumos Renault Fluence - <https://www.spritmonitor.de/en/>
<http://www.autopista.es/pruebas-de-coches/Consumos-coches-reales/articulo/verdad-consumos-combustible-coches>
- [17] Estudio de un usuario particular - <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/hablemos-de-eficiencia-coche-de-combustion-vs-coche-electrico>
- [18] Valor energético de la gasolina - <https://es.wikipedia.org/wiki/Gasolina>
- [19] Valor energético del diésel - <https://es.wikipedia.org/wiki/Gas%C3%B3leo>
- [20] Valor energético de 1 kWh de energía - <https://es.wikipedia.org/wiki/Vatio-hora>
- [21] Precio combustibles - <https://servicios.elpais.com/gasolineras/>
- [22] Precio kWh de Iberdrola - <https://www.iberdrola.es/hogar/tarifas-reguladas/precio-fijo#>
- [23] Fuente - Electromaps www.electromaps.com
- [24] Artículo del diario El País - https://elpais.com/internacional/2017/01/13/actualidad/1484338094_275966.html -
- [25] “The potencial impacts of electric vehicles on air quality in the urban areas of Barcelona and Madrid (Spain)” por A. Soret, M. Guevara

[26] Fuente – Red Eléctrica Española www.ree.es

[27] Fuente - Red Eléctrica Española www.ree.es, Oficina Catalana del Canvi Climàtic <http://web.gencat.cat> y Fondo Mundial para la Naturaleza www.wwf.es

[28] “Calidad del aire y control de las emisiones de los vehículos” de Arturo Romero Salvador.

[29] “El vehículo eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio” de STA (Sociedad de Técnicos de Automoción), Rafael Boronat y Maite García.