

# CONDUCCIÓN, EN CONDICIONES REALES DE GALICIA, DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO CON AUTONOMÍA EXTENDIDA (REX)

**FRANCISCO SILVA CASTAÑO**

Doctor Ingeniero de Minas  
Delegado de Iberdrola en Galicia  
[fsilva@iberdrola.es](mailto:fsilva@iberdrola.es)

## INTRODUCCIÓN

En este artículo se describirá una prueba real de circulación por las carreteras de Galicia de un vehículo eléctrico con autonomía extendida (Range Extender, REX) durante 11 meses y 24.590 km.

Se situará este ensayo en el contexto de la lucha general contra el cambio climático y se extraerán algunas conclusiones que pueden ayudar a avanzar en la implantación de este sistema de movilidad sostenible, muy recomendable por diversas razones medioambientales, de salud pública, de eficiencia y autoabastecimiento energéticos y de seguridad del suministro.



El vehículo eléctrico (REX) durante la prueba de conducción, al lado de la Vivienda Bioclimática del Parque Eólico Experimental Sotavento (Xermade, Lugo; agosto de 2016)

## EL TRANSPORTE POR CARRETERA, EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA SALUD PÚBLICA

El transporte por carretera fue la principal fuente de gases de efecto invernadero en España en 2013, con un 31% del total de las emisiones, según el Informe Monitor Deloitte: "Un modelo energético sostenible para España en 2050. Recomendaciones de política energética para la transición" (marzo 2016).

Según este informe, los coches, camiones y demás vehículos, contribuyen al cambio climático más que la producción de electricidad (24%) y la industria (18%). Además, si se observa la evolución desde 2000 a 2013, sus emisiones sólo se han reducido un 5%, frente a un 36% de reducción en las procedentes de la producción eléctrica o un 29% en las de la industria.

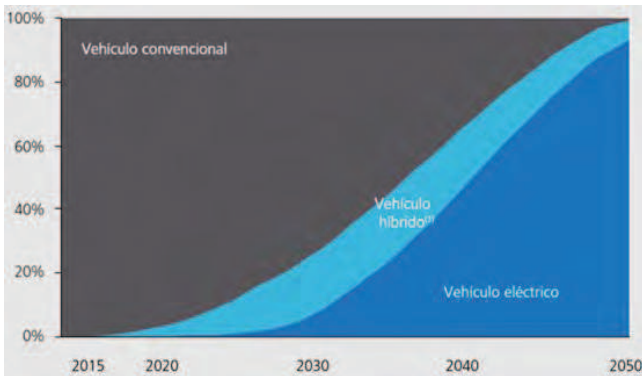
En cuanto al uso de energías renovables, su historial es aún peor: frente a un 37% de participación de las renovables en la generación eléctrica peninsular en 2015 (REE), el porcentaje de renovables en los combustibles para vehículos alcanzó en España, según Eurostat, un 0,5% en 2014 (segundo peor porcentaje en la UE después de Estonia).

Los vehículos de combustión interna son, también, la principal fuente de contaminantes en la atmósfera de las ciudades, ya que emiten más de 1.000 sustancias nocivas (US EPA Master list of Compounds Emitted from Mobile Sources). Las principales son:

- CO. Gas tóxico que impide la oxigenación de la sangre y produce ozono.
- NOx. Tóxicos, producen ozono y ácido nítrico. También producen efecto invernadero.
- Partículas sólidas PM10 y PM 2,5 (inquemados, hollín, etc.). Producen ozono con los NOx. Son muy nocivas para las vías respiratorias y son cancerígenas.
- Hidrocarburos. Nocivos, producen ozono.
- COVs (Compuestos Orgánicos Volátiles). Formaldehído, dioxinas, furanos, cetonas, etc. Nocivos y cancerígenos en algunos casos.
- SO2, NH3, metales pesados.
- CO2. Principal gas de efecto invernadero.

Las emisiones conjuntas de los vehículos diésel han sido clasificadas recientemente (junio de 2012) como cancerígenas del grupo 1, el de sustancias de mayor efecto, por la IARC (International Agency for Research on Cancer) de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Desde los puntos de vista de la protección del medio ambiente, la lucha contra el cambio climático (acuerdo de París, COP21) y la salud pública (clasificación IARC), la reducción progresiva (y sensata) de todos los vehículos con combustibles fósiles parece un hecho cierto y deseable, que se encaja en la transición hacia una economía descarbonizada en 2050 en la UE (y en el mundo en 2085).



Previsión de la evolución del parque de turismos español (Deloitte)

Entre las mejores opciones para sustituirlos figura, por sus ventajas de todo tipo, el vehículo eléctrico puro, que a causa de los problemas prácticos que aún presenta su empleo (autonomía limitada y escasez de puntos públicos de recarga), deberá convivir, durante un periodo de transición, con los híbridos enchufables, y, especialmente, con los vehículos eléctricos con autonomía extendida (Range Extender o REX).

En la actualidad, el vehículo eléctrico ya es una realidad viable. Muchas empresas con inquietudes ambientales, entre ellas Iberdrola, han comenzado ambiciosos programas por etapas para dotarse de vehículos eléctricos, y existen iniciativas en numerosas ciudades para ir sustituyendo progresivamente el contaminante transporte con combustibles fósiles por la movilidad verde eléctrica.

### DESCRIPCION DEL VEHICULO ENSAYADO

Para realizar la prueba de conducción se ha utilizado un vehículo BMW i3, 100% eléctrico, equipado con un grupo electrógeno térmico de respaldo (de gasolina) opcional: REX (Range Extender). Sus características técnicas principales son:

- Tracción 100 % eléctrica permanente mediante motor-generador síncrono de 170 CV, alimentado desde las baterías a través de un inversor-cargador.
- Baterías de iones de litio de 18,8 kWh (situadas en el suelo del vehículo) con tiempo de recarga completa (0% a 100%) de 5-6 h en enchufes estándar (Schuko).

- Grupo térmico REX de 34 CV, que alimenta las baterías, con depósito de 9 l para gasolina sin plomo 95.
- Autonomía eléctrica aproximada: 150 km. Autonomía del REX: 150 km. Autonomía total estimada: 300 km (variable, según el régimen de conducción, entre 250 y 350 km)

El grupo REX de respaldo entra en funcionamiento automáticamente al descender el nivel de carga de las baterías por debajo de un umbral establecido (o a voluntad del conductor).

### PRUEBA DE CONDUCCIÓN

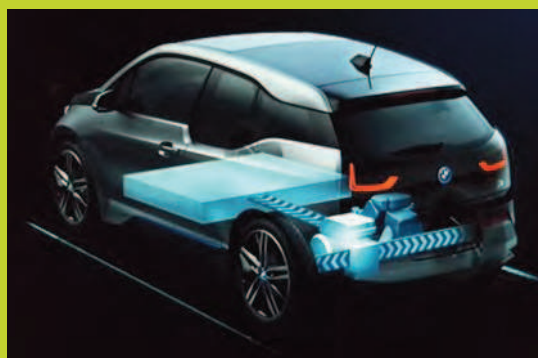
Desde la entrega del vehículo en octubre de 2015 hasta el momento actual (septiembre de 2016) se han recorrido 24.590 km en unos 11 meses. Los recorridos han sido casi exclusivamente interurbanos, por carreteras y autopistas, y el coche ha funcionado como medio de transporte único de trabajo de la Delegación de Iberdrola en Galicia.

Los desplazamientos han incluido amplias zonas de Galicia, desde Ribadeo hasta Bayona y hasta el Barco de Valdeorras, así como amplias zonas de Asturias y de Castilla-León. El mayor recorrido realizado en un solo día ha sido de 560 km.

En ningún momento el vehículo se ha quedado sin reservas (eléctricas o de gasolina) para continuar la marcha.



El vehículo en el embalse de Santo Estevo de Iberdrola. Zona de Especial Conservación ZEC-Red Natura 2000 del Cañón del Sil (Ribeira Sacra, Nogueira de Ramuín, Ourense). Septiembre de 2016



Esquema de funcionamiento del vehículo en el modo habitual (100% eléctrico): las baterías (en el suelo del coche) alimentan el inversor y éste al motor eléctrico de 170 CV, a la reductora, diferencial, palieres y ruedas



Funcionamiento del vehículo en modo autonomía extendida (REX): el grupo electrógeno auxiliar de gasolina de 34 CV (en naranja) alimenta las baterías y éstas el motor eléctrico y las ruedas

## RESULTADOS DE LA PRUEBA

Desde marzo hasta mayo de 2016 se han controlado los parámetros del vehículo con los siguientes resultados (de carácter preliminar, y válidos sólo como estimación de la situación real):

- Recorrido: 3.184 km.
- Consumo total de gasolina 95: 54,53 l (1,71 l/100km).
- Velocidad media: 58,4 km/h.
- Consumo eléctrico total medio: 18,6 kWh/100km (en la salida de baterías).
- Desglose del consumo: 50,4 % eléctrico y 49,6 % fósil directo (gasolina aportada).
- Empleo de energías renovables: 28,8 % renovable y 71,2 % resto usando el mix medio de Galicia en 2014 (57,2%, REE). 18,8 % renovable y 81,2 % resto usando el mix medio de la península en 2015 (37,4%, REE).
- Emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas en la conducción real: 61 g/km. Por debajo del objetivo UE para 2025 (70 g/km, en circuito de pruebas).

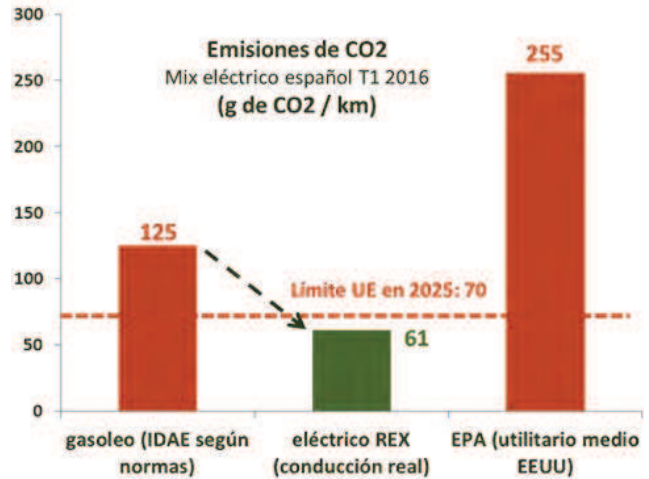
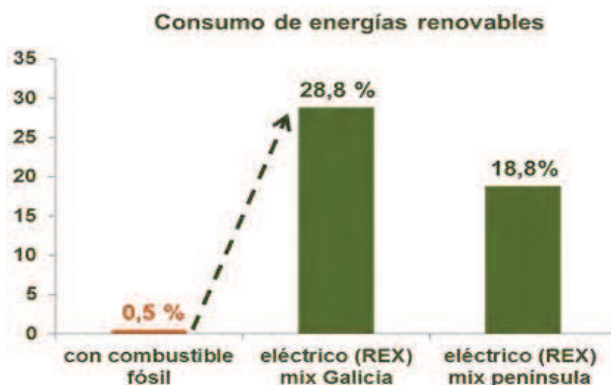
Las emisiones de CO<sub>2</sub> están calculadas con las emisiones medias del sistema eléctrico español en el primer trimestre de 2016: 115 g/kWh (Observatorio de la electricidad, abril 2016 de WWF España).

Como referencia de comparación se ha tomado el dato de la tabla del IDAE de un coche de potencia equivalente (2.0 TDI 150CV): 125 g CO<sub>2</sub>/km.

En los cálculos se ha utilizado un rendimiento estimado del motor térmico del 19% (tanque-ruedas, US-EPA). Se debe recordar que los valores mencionados de los vehículos diésel se han obtenido en pruebas según normas, por lo que son muy inferiores a los que se obtienen en conducción real.

El porcentaje de renovables en los carburantes para transporte en España es del 0,5% (fuente: Eurostat, 2014).

En el siguiente gráfico podemos ver la utilización de las energías renovables en el transporte durante la prueba, comparada con el uso de renovables en un vehículo convencional.



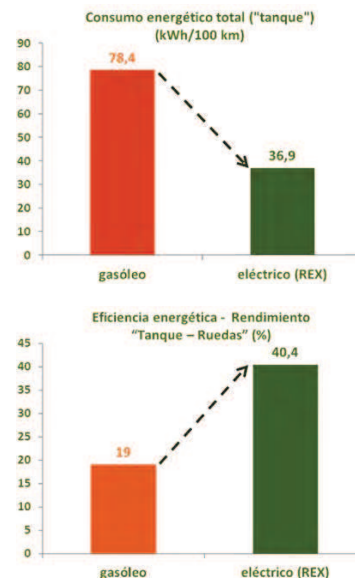
En la siguiente figura vemos las emisiones de CO<sub>2</sub> en la prueba (en verde) comparadas con el valor IDAE de un vehículo diésel (según normas) y una estimación de la US-EPA para un utilitario medio.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas respecto a un utilitario medio con combustibles fósiles (según normas) han sido, durante la prueba de 3.184 km, de 203 kg y durante un año de circulación (aprox. 25.000 km) de 1,6 Tm de CO<sub>2</sub>.

## REDUCCIÓN DEL CONSUMO Y AUMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

En los siguientes gráficos tenemos el consumo energético total y el rendimiento del vehículo eléctrico (REX), calculados durante la prueba, comparados con los valores de un vehículo convencional (según bibliografía).

Ambos son claramente mejores en el vehículo eléctrico debido al muy superior rendimiento de los motores eléctricos respecto a los motores térmicos, y por la considerable recuperación de energía producida en las frenadas y en los descensos, con el motor principal actuando como generador de carga de las baterías.







## CONCLUSIONES OPERATIVAS DE LA PRUEBA

- El coche probado ha funcionado perfectamente durante 11 meses, y más de 24.000 km, como vehículo único de trabajo de la Delegación de Iberdrola en Galicia, siendo una gran parte de los recorridos realizados de tipo interurbano (por autopista y carretera).
- El vehículo debe ser considerado como un coche eléctrico de baterías con grupo térmico de respaldo: no es un híbrido enchufable. La tracción siempre es 100% eléctrica. El REX (Range Extender) sólo entra al descargarse la batería (o a voluntad) en los viajes largos.
- La recarga ha sido casi siempre privada (vivienda y trabajo) por la escasez de puntos públicos de recarga.
- Mediante el uso del cargador portátil "ocasional" suministrado (a veces con alargadera), cada enchufe normal (tipo "Schuko" de 1- 4 kW) es una "electrolinera" (potencial): gran facilidad para la recarga y la circulación (aunque la recarga completa resulta aún algo lenta: 5-6 horas).
- Mayor simplicidad mecánica: menos averías.
- Menores desgastes de los frenos convencionales (zapatas y discos), gracias al uso habitual del electrofreno (con recuperación de energía en las frenadas y descensos para cargar las baterías).
- Menor coste de funcionamiento (energético y de mantenimiento).
- Mayor confort de la conducción: suavidad (no hay cambios de marchas) y ausencia de ruido del motor. Fuerte capacidad de aceleración (elevado par desde bajas revoluciones), excelente estabilidad y comportamiento (centro de gravedad muy bajo por la ubicación de las baterías en el suelo).
- En el momento actual, el grupo térmico de respaldo REX (Range Extender) parece muy recomendable para realizar una conducción interurbana normal (sin "ansiedad de batería"), ya que existe una ausencia casi total de puntos de recarga pública. Excelente solución práctica para la transición desde el vehículo convencional al eléctrico puro. En conducción urbana no parece necesario.

## CONCLUSIONES GENERALES AMBIENTALES Y DE SALUD

La implantación masiva del vehículo eléctrico, unido a la producción de electricidad con energías renovables, aumentará la sostenibilidad del transporte rodado. Tendremos:

- **Reducción del impacto ambiental y mejora en la lucha contra el cambio climático:**
  - Aumento del uso de las energías renovables en el transporte por carretera.

- Fuerte reducción en el consumo de combustibles fósiles.
- Menores emisiones de gases de efecto invernadero: CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.

### — **Mayor eficiencia energética y menor consumo:**

- Los motores eléctricos son mucho más eficientes que los térmicos.
- Recuperación importante de la energía en las frenadas y descensos.

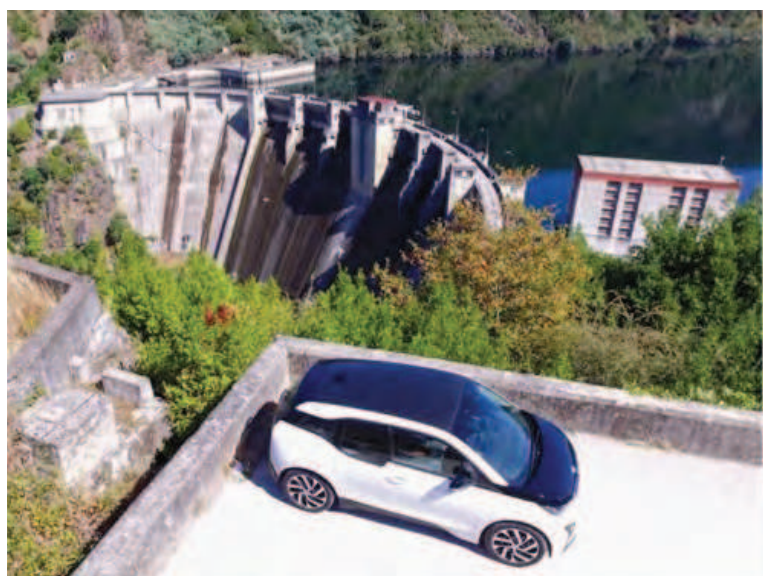
### — **Mejora de la salud pública:**

- Reducción de la contaminación atmosférica local: partículas, hollines, compuestos orgánicos volátiles, NO<sub>x</sub>, CO, etc. del propio vehículo.
- Reducción del ruido.

## OTRAS CONCLUSIONES ESTRATÉGICAS

Con el vehículo eléctrico, pasamos a utilizar en nuestros coches combustible fabricado en nuestra cercanía con materias primas limpias, renovables y autóctonas: viento, agua, luz del sol y biomasa. Conseguimos a la vez:

- Creación de empleo local sostenible en la generación eléctrica.
- Reducción de costosas importaciones de combustibles fósiles procedentes de zonas conflictivas.
- Mejora estratégica de la seguridad del suministro y de la autonomía energética.



El vehículo eléctrico (REX) de la prueba, en la Central Hidráulica de Iberdrola de Santo Estevo, la mayor de Galicia (Nogueira de Ramuín, Ourense, septiembre de 2016)