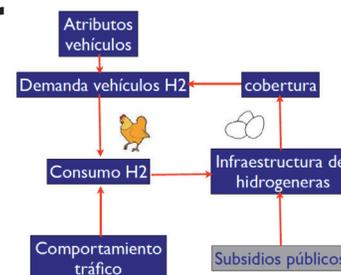


# Modelo logit anidado para determinar la expansión de los vehículos de hidrógeno (pilas de combustible) en España. Análisis de sensibilidad de los principales atributos



## Nested logic model to determine the expansion of fuel cell electric vehicles in Spain. Sensitivity analysis of the key attributes

■■■■  
Carlos Fúnez Guerra<sup>1</sup>, María Jaén Caparrós<sup>1</sup>, Lourdes Rodríguez Mayor<sup>2</sup>, Eusebio Angulo Sánchez-Herrera<sup>3</sup>, Doroteo Verastegui-Rayó<sup>3</sup>, Ricardo García-Ródenas<sup>4</sup>, Carmen Clemente-Jul<sup>5</sup> y Lorenzo Reyes-Bozo<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Centro Nacional del Hidrógeno. Prolongación Fernando el Santo, s/n - 13500 Puertollano (Ciudad Real).

<sup>2</sup> Universidad Europea de Madrid. Centro de Excelencia en Arquitectura, Ingeniería y Diseño. C/ Tajo, s/n - 28670 Villaviciosa de Odón (Madrid).

<sup>3</sup> Universidad de Castilla La Mancha. Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén. Plaza Manuel Meca, s/n - 13400 Almadén (Ciudad Real).

<sup>4</sup> Universidad de Castilla La Mancha. Escuela Superior de Informática. Paseo de la Universidad, 4 - 13071 Ciudad Real.

<sup>5</sup> Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. Departamento de Energía y Combustibles. Ríos Rosas, 21 - 28003 Madrid.

<sup>6</sup> Universidad Central de Chile. Toesca 1783. Santiago (Chile).

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8093> | Recibido: 24/06/2016 • Evaluado: 01/07/2016 • Aceptado: 06/09/2016

### ABSTRACT

• The use of Alternative Fuel Vehicles (AFV) as the Fuel Cell Vehicles (FCV)<sup>1</sup>, to replace vehicles powered by internal combustion engines, are a clear alternative of road transport that may provide, in the long term, security in energy supply at least partly, reduction in greenhouse gas emissions and improvement of air quality in cities.

There are six areas, which should be addressed in order to guarantee market penetration of environmentally friendly cars: (a) purchase price, (b) running costs, (c) availability of refuelling stations, (d) vehicle range before refuelling, (e) refuelling time and, (f) CO<sub>2</sub> emissions per kilometer<sup>2</sup>.

Location models are intended to accelerate the market penetration of FCV, making efficient decisions about infrastructure design.

Infrastructure (supply) enables to demand. However, in order for the infrastructure to be economically viable, there must already exist a given level of demand.

In this work, we describe one part of the bi-level developed model, simulating the behaviour of H<sub>2</sub> vehicle users. We use a discrete choice model to represent how users acquire FCV during the study period. The hierarchic nested logit model chosen for this study has been widely used in the field of transport.

The process of choosing a FCV is the next. At the higher level a user chooses to purchase a conventional vehicle (alternative b) or an AFV (alternative a). At the lower level AFV users choose the type of alternative fuel.

With the nested logit model it is possible to perform sensitivity analysis, which allows to observe how it affects each of the attributes in the usefulness of each type of vehicle and therefore the sale of the vehicle.

• **Key Words:** nested logit, fuel cell vehicles, refuelling stations, behaviour, conventional vehicles.

reemplazar a los vehículos impulsados por motores de combustión interna, son una clara alternativa del transporte por carretera que puede proporcionar, a largo plazo, seguridad en el suministro de energía, reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y mejora de la calidad del aire en las ciudades. Para garantizar la penetración en el mercado de estos vehículos ecológicos, se deben abordar seis aspectos fundamentales: (a) precio de compra, (b) costes de funcionamiento, (c) disponibilidad de estaciones de repostaje, (d) autonomía de los vehículos, (e) tiempo de repostaje y (f) emisiones de CO<sub>2</sub> por kilómetro.

Con los modelos de localización se pretende acelerar la penetración de los FCV en el mercado, tomando decisiones eficientes sobre el diseño de la infraestructura. Una infraestructura adecuada (oferta) generará la demanda de estos vehículos. Sin embargo, para que la infraestructura sea económicamente viable debe de existir ya un nivel adecuado de demanda.

En este trabajo, describimos una parte del modelo binivel que simula el comportamiento de los usuarios de los vehículos de H<sub>2</sub>. Utilizamos un modelo de elección discreta para representar cómo los usuarios adquieren los FCV durante el período de estudio. El modelo logit anidado jerárquico, elegido para este estudio, ha sido ampliamente utilizado en el campo del transporte. En el nivel superior del proceso de elegir un FCV, un usuario elige comprar un vehículo convencional (alternativa b) o un AFV (alternativa a). En el nivel inferior, los usuarios de AFV eligen el tipo de combustible alternativo.

Con el modelo logit anidado, es posible realizar un análisis de sensibilidad que permita observar cómo afecta cada uno de los atributos a la utilidad de cada tipo de vehículo y, por tanto, a su venta.

**Palabras clave:** logit anidado, vehículos de pila de combustible, estaciones de repostaje, comportamiento, vehículos convencionales.

### RESUMEN

El uso de vehículos de combustibles alternativos (AFV), como los vehículos de hidrógeno (pilas de combustible) (FCV), para

### 1. INTRODUCCIÓN

El uso de Vehículos de Combustible Alternativo (AFV), para sustituir a los vehículos de combustión interna, es una forma al-

ternativa de transporte por carretera que puede proporcionar, a largo plazo, seguridad en el suministro de energía, reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y mejora de la calidad del aire en las ciudades [1-3].

Hoen y Koetse [4] señalaron cinco aspectos que deben abordarse para garantizar la penetración en el mercado de los vehículos ecológicos: a) precio de compra, b) costes de funcionamiento, c) autonomía d) tiempo de repostaje y (e) disponibilidad de estaciones de repostaje.

Los modelos de localización pretenden acelerar la penetración de los AFV en el mercado, tomando decisiones eficientes sobre el diseño de la infraestructura. Uno de los principales problemas que deben ser tenidos en cuenta en el despliegue de la infraestructura necesaria para el uso de combustibles alternativos en el transporte y el denominado "problema del huevo y de la gallina" [3]. La infraestructura (oferta) propicia la demanda. Pero para que la infraestructura sea económicamente viable debe de existir ya un nivel adecuado de demanda. La Fig. 1 muestra los elementos esenciales de este círculo vicioso que involucra a la oferta y a la demanda.

Este problema requiere de colaboración entre la iniciativa pública y la privada para superar la etapa inicial del mercado de los vehículos AFV. Inicialmente, una política temporal de subsidios gubernamentales puede romper el círculo vicioso presentado en el párrafo anterior. Dicha política debe tener como objetivos: i) diseñar una red inicial de estaciones, situadas en ubicaciones coordinadas, que minimice los subsidios gubernamentales requeridos para maximizar la utilidad de las estaciones construidas o ii) diseñar políticas para que las estaciones de repostaje existentes tengan un incentivo para incluir combustibles alternativos entre sus productos. Los subsidios deben destinarse a las estaciones más convenientes, por lo que parte de la subvención debe utilizarse para recompensar la cantidad de combustible alternativo vendido por cada estación, y la otra parte para subsidiar los costes de inversión, y ambas partes deben ser dependientes del tiempo para aprovechar los mecanismos dinámicos hasta la madurez del mercado de vehículos AFV.

El problema se aborda desde el punto de vista ii) y considera los cinco elementos mencionados en la Fig. 1. Se establece un modelo de equilibrio de Stackelberg para diseñar y evaluar políticas óptimas de subsidios para favorecer el crecimiento de la infraestructura de combustibles alternativos (AF). El Estado desempeña el papel de líder y los propietarios de las estaciones de repostaje son sus seguidores. El líder desea diseñar una política de subsidios para

minimizar la inversión requerida para implementar la infraestructura necesaria de la forma más efectiva. Por otra parte, los propietarios de las estaciones de repostaje deciden, dinámicamente, si instalan combustibles alternativos (variables de nivel inferior) en función del beneficio estimado de la inversión, basándose en la actual política de subsidios y en la demanda de AF.

El modelo incorpora el comportamiento de los agentes del proceso (el Estado, los propietarios de estaciones de repostaje y los propietarios de FCV) en un contexto dinámico de competencia entre estaciones de repostaje. El aspecto de la competencia es nuevo en la literatura, ya que la mayoría de los estudios asumen una colocación coordinada, es decir, un monopolio en la propiedad de las estaciones o, de manera equivalente, la existencia de un Estado que puede obligar al propietario a establecer una estación AF. El objetivo es maximizar los beneficios del único propietario corporativo o maximizar la cobertura global de la red.

En el modelo el cambio en el número de estaciones AF, y su ubicación, depende del cambio en las subvenciones que reciben los propietarios de las estaciones AF del Estado y del cambio en el número y distribución espacial de los AFV, lo que, a su vez, depende del despliegue de la infraestructura.

La infraestructura de combustibles alternativos se centra en las pilas de combustible de hidrógeno (FC), por lo que se consideran los vehículos con pila de combustible (FCV).

El modelo binivel para la ubicación de las estaciones de repostaje de hidrógeno está formado por cinco submodelos:

- i) El modelo del tráfico que intenta describir cuántos viajes hace un usuario, el origen y el destino de estos viajes y la ruta por la que se realizan.
- ii) La demanda de los AFV, estos modelos describen la decisión de los usuarios de adquirir un AFV, dependiendo de un conjunto de atributos tales como el precio de compra, la disponibilidad de combustible alternativo, entre otros, y así predecir el desarrollo de la penetración de los FCV en las carreteras.
- iii) Modelización de las estaciones de repostaje con hidrógeno, que trata de predecir el desarrollo del número de estaciones de recarga, su tipología y su ubicación en el tiempo y en el espacio. Todas las estaciones de servicio existentes son analizadas para identificar cuáles pueden acomodar puntos de recarga de hidrógeno.
- iv) Identificación del índice de cobertura de la infraestructura, que dependerá del número de estaciones de recarga de hidrógeno instaladas y sus ubicaciones espaciales.
- v) Política de subsidios gubernamentales para la compra de vehículos, fabricación de vehículos y/o despliegue de estaciones de hidrógeno hasta lograr un mercado sostenible de combustibles alternativos.

El modelo binivel, desarrollado para la localización de estaciones de reabastecimiento de hidrógeno, tiene como objetivo responder a los requisitos exigidos por la Directiva Europea 2014/94 / UE sobre el despliegue de infraestructura de combustibles alternativos. La mencionada directiva establece un marco común de medidas para el despliegue de infraestructuras de combustibles alternativos en la Unión Europea a fin de reducir al mínimo la dependencia del petróleo y mitigar el impacto medioambiental del transporte.

En este artículo, nos centramos en el modelo de comportamiento de los usuarios de vehículos alternativos. Estos modelos describen la decisión de los usuarios de adquirir un AFV.

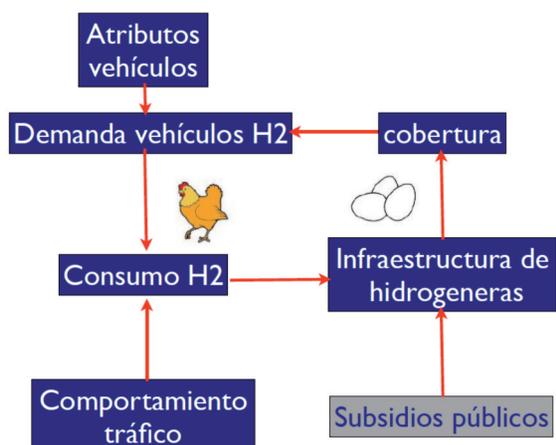


Fig. 1: Representación simplificada de los elementos que intervienen en el proceso de oferta y demanda del mercado de vehículos de combustible alternativo

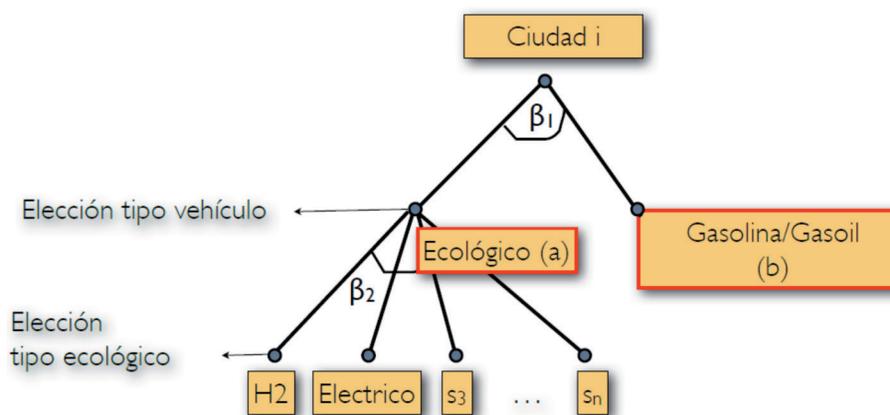


Fig. 2: Modelo logit anidado para la elección del vehículo a comprar

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS (MODELO LOGIT ANIDADO)

En esta sección, usamos un modelo de elección discreta para representar cómo los usuarios adquieren los FCV durante el período de estudio. El modelo jerarquizado logit anidado ha sido ampliamente utilizado en el campo del transporte [5 - 7], y es el modelo elegido para este estudio.

El *modelo logit anidado* (Fig. 2) muestra el proceso de elegir un FCV. En el nivel superior un usuario elige comprar un vehículo convencional (alternativa b) o un AFV (alternativa a). En el nivel inferior, los usuarios de AFV eligen el tipo de combustible alternativo.

Sea  $\bar{g}_j^t$  la previsión de ventas de vehículos durante el periodo  $t$  en la ciudad  $j$ . El modelo desagrega las ventas totales de vehículos por tipo de combustible alternativo. En la primera decisión, una persona de la ciudad  $j$  en el instante  $t$  tiene dos alternativas al comprar un vehículo: (a) AFV o (b) vehículo convencional. El primer nivel del modelo divide los vehículos vendidos entre las alternativas (a) y (b) de la siguiente manera:

$$g_j^{a,t} = \frac{\exp(\beta_1 U_j^{m,t})}{\sum_{m \in \{a,b\}} \exp(\beta_1 U_j^{m,t})} \cdot \bar{g}_j^t \quad m \in \{a,b\} \quad (1)$$

donde  $U_j^{m,t}$  es la utilidad de la alternativa  $m$  para usuarios de la ciudad  $j$  en el periodo  $t$ .  $\beta_1$  y  $\alpha_r$  son los parámetros obtenidos de la calibración del *modelo logit anidado*.

El segundo nivel del *modelo logit anidado* desagrega los AFV en dos tipos de combustible  $S$  mediante la siguiente expresión:

$$g_{j,s}^{a,t} = \frac{\exp(\beta_2 U_{j,s}^{a,t})}{\sum_{s' \in S} \exp(\beta_2 U_{j,s'}^{a,t})} \cdot g_j^{a,t} \quad s \in S \quad (2)$$

Los modelos logit anidados calculan la utilidad de los coches alternativos  $U_j^{a,t}$  como el "logaritmo-sumatorio" de las utilidades de tipo ecológico:

$$U_j^{a,t} = \frac{1}{\beta_2} \ln \left[ \sum_{s \in S} \exp(\beta_2 U_{j,s}^{a,t}) \right] \quad (3)$$

Hoen and Koetse [4] realizan una revisión de los diversos atributos utilizados en anteriores experimentos sobre la elección de AFV. Estos autores señalan que el precio de compra, los costes operativos, la autonomía, el tiempo de repostaje y la disponibili-

dad de estaciones de repostaje pueden tener efectos sustanciales sobre las decisiones de los consumidores por los AFVs. La reducción de emisiones también se señala como un factor importante. Por este motivo, este trabajo considera la utilidad lineal:

$$U_{j,s}^{a,t} = \alpha_1 p_v^t + \alpha_2 p_c^t + \alpha_3 co_{j,s}^t + \alpha_4 dr_s^t + \alpha_5 \tau t_s^t + \alpha_6 e_s^t \quad (4)$$

donde:

- $p_v^t$  es el precio de compra en  $\text{k€}$  del vehículo  $s$  en el período  $t$ .
- $p_c^t$  es el precio del combustible en  $\text{c€}$  en el período  $t$  y para el vehículo de tipo  $s$  (haciendo la conversión para la energía equivalente a un litro de diésel).
- $co_{j,s}^t$  es la cobertura desde la ciudad  $j$  para el vehículo de tipo  $s$  en el período  $t$  en kilómetros. Definimos la cobertura en un par  $\omega = (j;j_0)$  como la máxima distancia entre dos hidrogeneras consecutivas de la ruta mínima satisfaciendo el par  $\omega$  que es la cobertura entre ciudades. Además, para calcular la cobertura dentro de la ciudad se aproximó utilizando la simulación de Montecarlo y aproximaciones geométricas. En el modelo binivel para la localización de hidrogeneras, la cobertura tiene su propio modelo.
- $dr_s^t$  es la distancia recorrida en kilómetros en el periodo  $t$  y para el vehículo de tipo  $s$  (entendiendo la autonomía como número de kilómetros que es posible realizar con un 100% de combustible de recarga).
- $\tau t_s^t$  es el tiempo de recarga en minutos en el periodo  $t$  para el vehículo de tipo  $s$  (es el tiempo requerido para el reabastecimiento al 100% de capacidad).
- $e_s^t$  son las emisiones de  $\text{CO}_2$  del tipo de vehículo  $s$  en el periodo  $t$  (se determinará  $\text{gCO}_2$  por kilómetro).

Los valores de los distintos atributos de cada tipo de vehículo en los años de estudio se pueden ver en el Apéndice 1.

Hoen and Koetse [4] sugieren que atributos como lo autonomía, largos periodos de recarga de combustible y la disponibilidad limitada de recargar el combustible son en gran medida responsables de las preferencias de los consumidores en los primeros años. Todos estos atributos son recogidos en nuestro modelo.

Finalmente, el número total de vehículos FCV (suponemos que el período de obsolescencia del vehículo es mayor que el período de estudio) presente en la ciudad  $j$  en el período  $t$  es:

$$G_j^t = \sum_{t'=0}^t g_{j,H_2}^{a,t'} \quad (5)$$

La evolución dinámica de los atributos, exceptuando la cobertura de la infraestructura, es exógena al modelo propuesto e introduce premisas sobre el progreso tecnológico y los precios de la energía en el modelo.

No todas las incertidumbres relevantes han sido incluidas en el análisis. El objetivo es el diseño dinámico de los subsidios anticipados para asegurar una provisión adecuada de infraestructura de reabastecimiento. Estas subvenciones deben diseñarse de acuerdo con la evolución de los factores tecnológicos y la evolución de las economías de escala en la producción de AFV.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha realizado un caso de estudio del problema desarrollado en las cinco ciudades españolas de mayor población (nodos) y seis autopistas (arcos) utilizadas para la comunicación entre las mismas. Las autopistas pertenecen a la red de transporte de *Trans-European*. La Fig. (3) representa el problema del caso de estudio.



Fig. 3: Caso de estudio

El Modelo *Nested Logit* predice la evolución de venta de vehículos. Se ha realizado un ejercicio de ingeniería inversa para calibrar el modelo. Coincidiendo con estudios prospectivos para determinar la evolución de las ventas de vehículos y para la determinación de los atributos de cada tipo de vehículo.

El modelo requiere la estimación de las ventas totales de vehículos de varios años como puede observarse en Fig (4). Se encontró que el número de vehículos vendidos o vehículos registrados está correlacionado con el PIB per cápita (producto interior bruto). Esta correlación queda patente en la Fig. (4).

Con la correlación mencionada anteriormente, las previsiones de evolución del PIB en España (Fig. 5) y las estimaciones de la

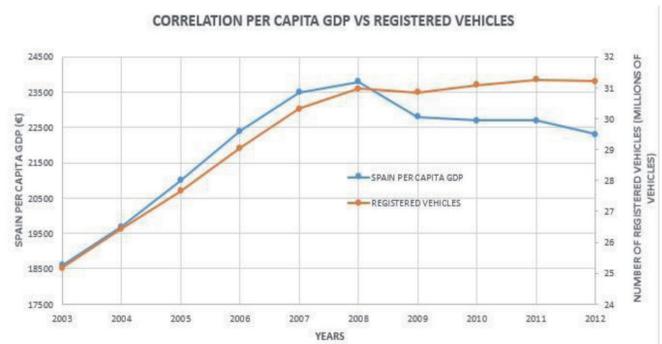


Fig. 4: Correlación en el PIB per cápita y los vehículos matriculados (Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Dirección General de Tráfico)

### Crecimiento del PIB entre los años 2013- 2033

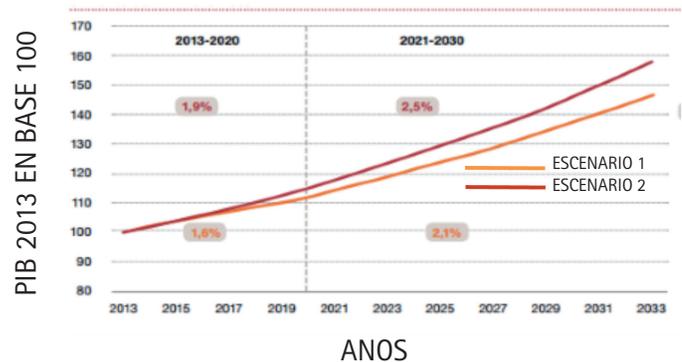


Fig. 5: Crecimiento del PIB entre los años 2013-2033 (Fuente: PricewaterhouseCoopers)

evolución de la población del Instituto Nacional de Estadística, es posible estimar las ventas de vehículos en los años siguientes (Tabla 1).

Se ha hecho el modelo de calibración mediante CNML (Probabilidad Máxima Normalizada Condicional), con el objetivo de que el modelo *nested logit* encaje con la mayor precisión posible a los estudios prospectivos.

Fig. (6) muestra los resultados obtenidos. Se observa que el modelo reproduce el comportamiento prospectivo para los cuatro tipos de vehículos (convencional, eléctrico, hidrógeno y gas natural comprimido).

En la calibración del modelo cada atributo fue estandarizado entre 0 y 1 y se ha realizado un modelo de análisis calibrado con respecto a cada atributo para el cual se realiza el análisis de sensibilidad (todos los atributos se han obtenido de la literatura excepto el atributo de cobertura calculado en otra parte del modelo).

Los datos utilizados para los atributos se han obtenido a partir de informes prospectivos de movilidad de coches de H<sub>2</sub> en el Reino Unido, el Programa de Innovación Nacional (NIP) en Alemania y otros estudios prospectivos. Los valores asignados a los atributos de los diferentes tipos de vehículos en los diferentes años se pueden ver en el *Apéndice 1*.

Fig. (7) muestra el análisis de sensibilidad de la cobertura. El eje X muestra el valor de la cobertura y el eje Y muestra la proporción de ventas de automóviles en %. El valor del eje X está entre

AÑO	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
VENTA DE VEHÍCULOS (millones de unidades)	1.02	1.04	1.06	1.08	1.1	1.05	1.00	0.995	0.99	0.985	0.98	0.97	0.96	0.955	0.950

Tabla 1: Estimación de venta de vehículos 2016-2030

300 y 0 kilómetros de cobertura para coches de hidrógeno. En el periodo actual  $t = 1$ , los atributos de cobertura no tienen ningún efecto sobre la venta de vehículos de hidrógeno. En  $t = 15$  con sus respectivos atributos, la cobertura tiene un efecto sobre las ventas que van desde alrededor del 2% con una red de cobertura 1 (el peor) a más del 30% con la cobertura más amplia posible.

Fig. (8) muestra el análisis de sensibilidad del precio de compra. El eje X muestra el valor del precio de compra y el eje Y muestra la proporción de ventas de automóviles en porcentaje. El valor del eje X es entre 50 k € y 0 k € del precio de compra del vehículo de hidrógeno. En el periodo actual  $t = 1$  el precio de compra no tiene ningún efecto sobre la venta de vehículos de hidrógeno. En

$t = 15$  con sus respectivos atributos, el precio de compra tiene un efecto sobre las ventas que van desde alrededor de 3% con un precio de compra 1 (el peor) a más del 95% con el precio de compra más barato.

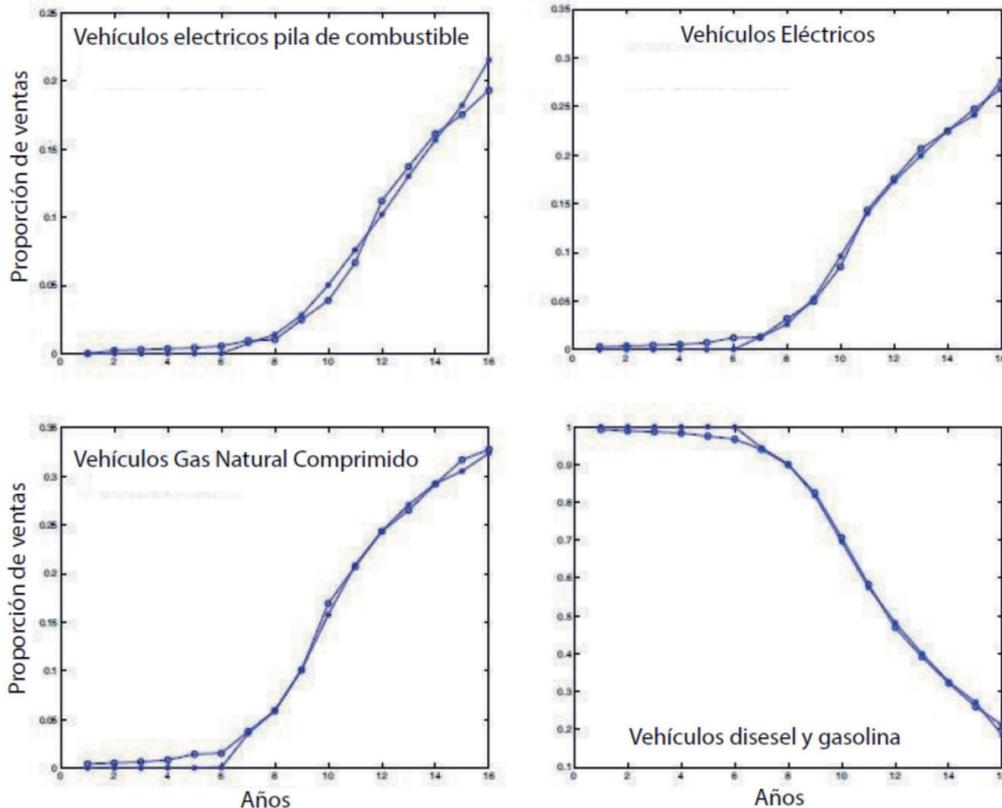


Fig. 6: Estimación del Modelo Nested Logit. Ventas estimadas y ventas observadas con Modelo CNML

#### 4. CONCLUSIONES

El análisis de los problemas resueltos muestra que el modelo funciona bien. Se obtienen resultados consistentes según estudios prospectivos tomados como referencia.

Se analiza el comportamiento de los usuarios de los vehículos frente a cambios en los atributos. En concreto, se ha cambiado el atributo de cobertura y el precio de compra y se han observado cambios en el comportamiento de la venta de vehículos y su penetración en el mercado.

En las pruebas realizadas se puede observar que con una baja cobertura (pocas estaciones de servicio), la venta de coches de hidrógeno sea baja y como con cobertura alta (muchas estaciones de servicio) hace que la venta de vehículos de hidrógeno sea alta. Por último, con precios de compra altos las ventas de vehículos de hidrógenos son bajas.

Este modelo predice cómo se comportará la penetración de los vehículos de combustible alternativo en función de la variación de los diferentes atributos que determinan la utilidad del vehículo.

Se ha desarrollado una herramienta realmente útil que permite a los fabricantes de automóviles estimar el valor que tienen que tomar los atributos como el coste del vehículo, rango y tiempo de recarga, para hacer que su penetración en el mercado sea mayor.

Utilizando esta herramienta, el Gobierno español puede conocer información sobre la cober-

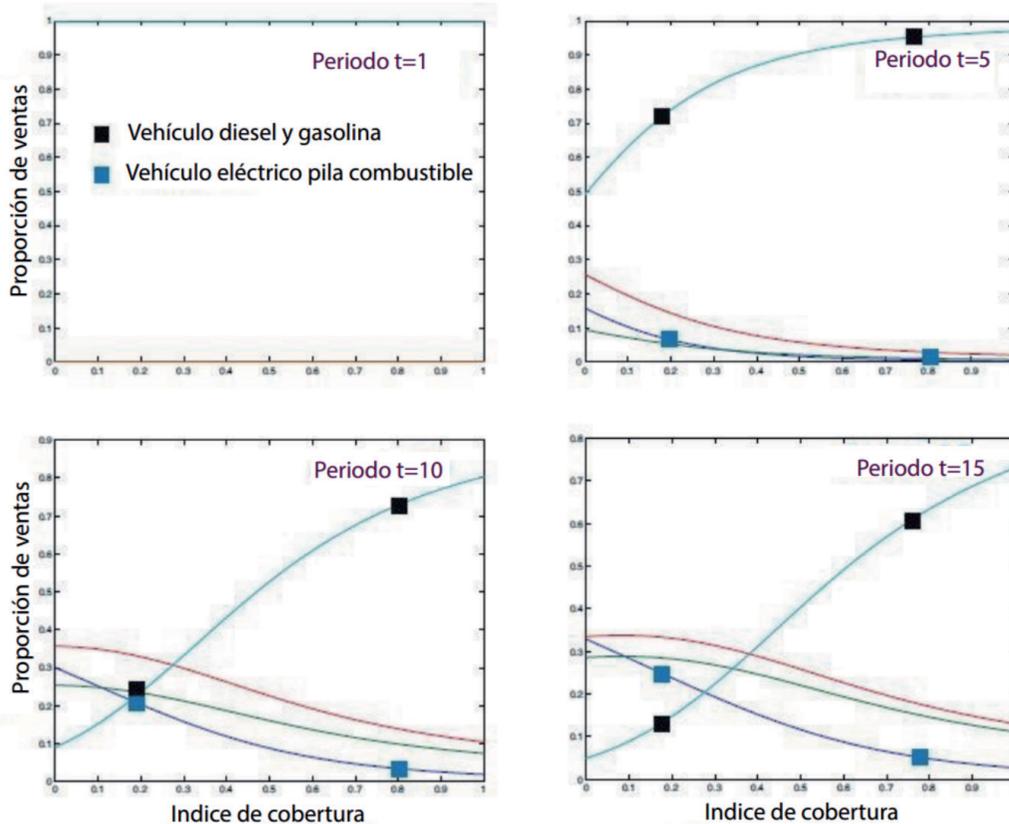


Fig. 7: Análisis de sensibilidad del atributo de cobertura

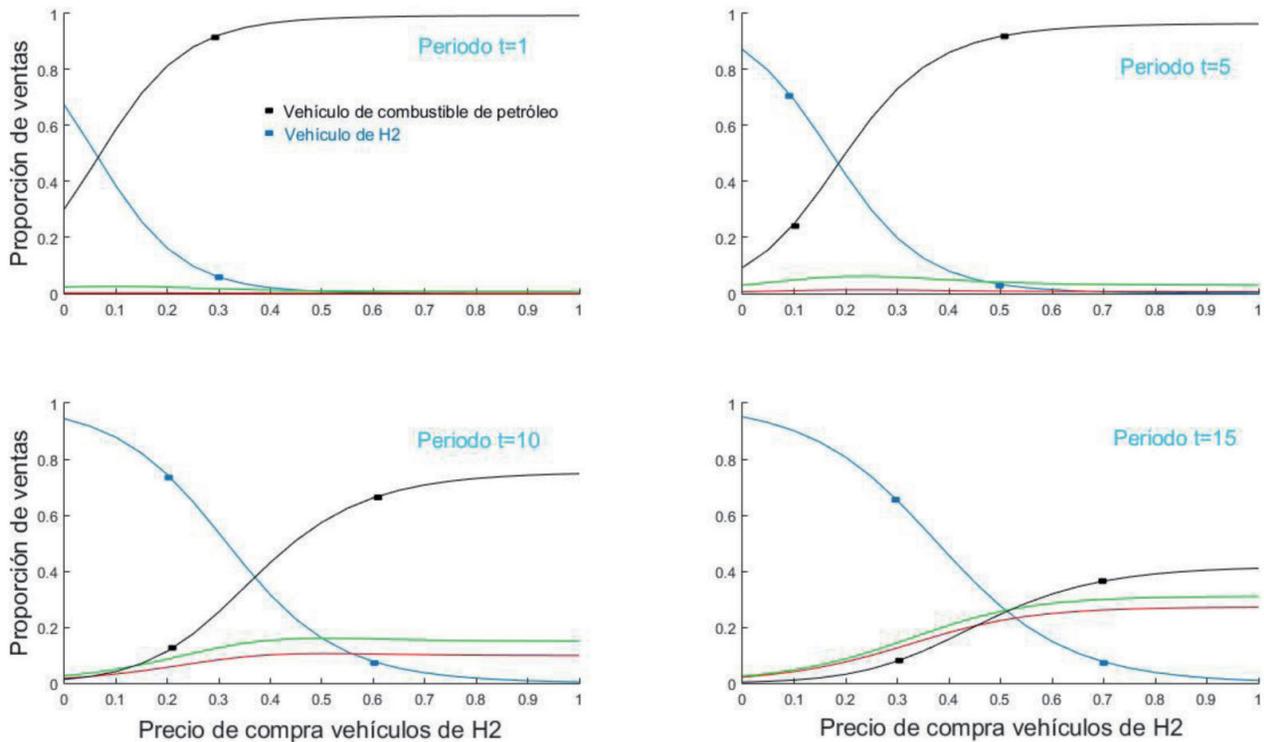


Fig. 8: Análisis de sensibilidad del atributo precio de compra

tura necesaria (o lo que es lo mismo el número de estaciones de recarga de hidrógeno) para la penetración del Vehículo Eléctrico de Pila de Combustible.

Finalmente, también es posible analizar el impacto que tendría el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> en la venta de diferentes tipos de vehículos.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado entre el Grupo MAT (Modelos y Algoritmos en Sistemas de Transporte) de la Universidad de Castilla-La Mancha, la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y el Centro Nacional de Hidrógeno (CNH<sub>2</sub>) con el apoyo financiero del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO), el Gobierno de Castilla-La Mancha (JCCM) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) 2007-2013 incluidos en el "Programa Operativo de I+D+i para el Beneficio de las Empresas - Fondo Tecnológico".

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rosa-Tudela P, Morales-García J, Buiza-Camacho G, et al. "Methodology for estimation of capacity of electricity grid facing introduction of electric vehicles for urban distribution of goods into cities". DYNA Energía y Sostenibilidad, January-December 2015, Vol. 4-1. p1-14. (DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/E57602>).
- [2] Stephens-Romero SD, Brown TM, Kang JE, et al. "Systematic planning to optimize investments in hydrogen infrastructure deployment". International Journal of Hydrogen Energy. May 2010. Vol. 35-10, p.4652-4667. (doi: [10.1016/j.ijhydene.2010.02.024](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.02.024)).
- [3] Wang Y, Wang C. "Locating passenger vehicle refueling stations". Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. September 2010. Vol. 46-5. p791-801. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2009.12.001>).
- [4] Hoen A, Koetse MJ. "A choice experiment on alternative fuel vehicle preferences of private car owners in the Netherlands". Transportation Research Part A: Policy and Practice. March 2014. Vol. 61. p.199-215. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2014.01.008> ).
- [5] Ben-Akiva M, Lerman S. Discrete Choice Analysis: Theory and Application

- to Travel Demand. 1 edition. MIT Press, 1987. 384p. ISBN 9780262022170.
- [6] García R, Marín A. "Network equilibrium with combined modes: models and solution algorithms". Transportation Research Part B: Methodological. March 2005. Vol. 39-3. p.223-254. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2003.05.002>).
- [7] Oppenheim N. Urban Travel Demand Modeling: From Individual Choices to General Equilibrium. 1 edition. A Wiley-Interscience Publication, Wiley, 1995. 480p. ISBN 9780471557234.

## MATERIAL SUPLEMENTARIO

[http://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/\\_adic/8093-1.pdf](http://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/_adic/8093-1.pdf)

