

# DESARROLLO DE UN METODO PARA LA EVALUACION DEL RENDIMIENTO MEDIOAMBIENTAL DE AUTOMOBILES DURANTE SU CICLO DE VIDA COMPLETO (INDICE MVJN)

**Autor: Venta Torreiro, Miguel.**

Director: De Norverto Moriñigo, Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

## RESUMEN DEL PROYECTO

### 1. Introducción

No se encuentra, en el mundo de la automoción, un criterio sencillo que permita a cualquier interesado valorar de forma rápida y objetiva el rendimiento medioambiental de un automóvil durante todo su ciclo de vida: desde la extracción de materias primas al reciclaje, pasando por la fabricación, uso y mantenimiento; teniendo en cuenta, además, las diferentes formas de energía que soportan las distintas etapas. El presente proyecto pretende dar solución a este hecho.

### 2. Estado de la técnica

La principal referencia que se encuentra disponible, a día de hoy, en el mundo de la energía, del motor y del automóvil es el estudio desarrollado y publicado anualmente por el consejo americano para una economía energético-eficiente (American Council for an Energy-Efficient Economy - ACEEE). Se trata de un organización sin ánimo de lucro, fundada en 1980 por algunos de los investigadores estadounidenses más cualificados en el campo de la energía. Se muestran los resultados para las primeras posiciones (mayor eficiencia) dentro del mercado norteamericano en el año 2013 (tabla R.1.):

<b>Make and Model</b>	<b>Specifications</b>	<b>Emission Standard <sup>a</sup></b>	<b>MPG: City</b>	<b>MPG: Hwy</b>	<b>Green Score</b>
<b>TOYOTA PRIUS C</b>	1.5L 4, auto	SULEV II / Bin 3	53	46	58
<b>HONDA FIT <sup>b</sup></b>	Electric (Li-ion battery)	ZEV	3.9	3.1	57
<b>TOYOTA PRIUS</b>	1.8L 4, auto	PZEV / Bin 3	51	48	55

<b>TOYOTA PRIUS PLUG-IN HYBRID<sup>c</sup></b>	Electric (Li-ion bat.) / 1.8L 4, auto CVT	PZEV / Bin 3	3.9 / 51	3.0 / 49	55
<b>HONDA CIVIC HYBRID</b>	1.5L 4, auto	PZEV / Bin 2	44	44	55
<b>HONDA INSIGHT</b>	1.3L 4, auto	Bin 3	41	44	54
<b>VOLKSWAGEN JETTA HYBRID</b>	1.4L 4, auto	PZEV / Bin 3	42	48	53
<b>MERCEDES-BENZ SMART FORTWO CONVERTIBLE / COUPE</b>	1.0L 3, manual [P]	ULEV II / Bin 5	34	38	53
<b>SCION IQ</b>	1.3L 4, auto	ULEV II / Bin 5	36	37	53
<b>FORD FOCUS<sup>b</sup></b>	Electric (Li-ion bat.)	ZEV / Bin 1	3.3	2.9	52
<b>TOYOTA PRIUS V</b>	1.8L 4, auto	SULEV II / Bin 3	44	40	52
<b>FORD FUSION HYBRID / C-MAX HYBRID</b>	2.0L 4, auto	Bin 3	47	47	51
<p>[P] denotes premium gasoline.  "auto CVT" denotes continuously variable automatic transmission.  <sup>a</sup> A listing with two emission standards (e.g., Tier 2 bin 2/ PZEV) denotes a single vehicle carrying both a Federal and a California emission certification. Green Scores for such listings reflect the cleaner of the two certifications.  <sup>b</sup> Fuel economy for electric vehicles is provided in miles per kilowatt-hour.  <sup>c</sup> Fuel economy for plug-in hybrids is provided in miles per gallon for gasoline operation and in miles per kilowatt-hour for electric operation</p>					

Tabla R.1.

### 3. Objeto del proyecto

Se desarrolla un método de evaluación sistemático, directo y sencillo; que permite dar una puntuación a un vehículo a través de un índice compuesto por 35 parámetros (materiales de fabricación, cilindrada, lugar de origen, configuración del habitáculo, etc.) que caracterizan las principales dimensiones físicas y opciones tecnológicas del mismo. La puntuación que se otorga a cada uno de los parámetros se basa en un criterio objetivo de eficiencia energética y mínimo impacto ambiental, cuyos razonamientos o principios científicos vienen detallados; y están establecidos en base a un vehículo considerado como ideal, cuyas características aparecen definidas. La suma ponderada según relevancias asignadas a los diferentes parámetros permite obtener una calificación global final (ec. R.1.). Se sugiere, a continuación, una forma de tratamiento de los resultados para facilitar su análisis, basada en un cambio de variable, pasando la puntuación a estar enmarcada en escala de 0 a 100; si bien este tratamiento se deja a voluntad del usuario que emplee el índice. El método es flexible, de forma que permite su empleo sin tener en cuenta la totalidad de parámetros, si bien la consideración de un mayor número aumenta la eficacia de la

valoración, siendo óptima cuando se utilizan los 35 posibles. Los datos necesarios para realizar las calificaciones son responsabilidad del interesado; no obstante, el criterio está diseñado de forma que la información demandada sea fácilmente accesible al individuo común, a través de catálogos comerciales, revistas de automoción, sitios web, etc.

$$\sum P = R * Pa \quad (\text{Ec. R.1.})$$

#### 4. Metodología

Tras la definición de las distintas etapas que conforman los ciclos de vida de combustible y automóvil, se ha establecido una clasificación de los diferentes tipos que se pueden encontrar de éste último, según su forma de funcionamiento: motor gasolina, diésel, pila de hidrógeno, motor eléctrico o híbridos de los anteriores. A su vez, se han determinado los medios de contaminación asociados a cada tipo, siendo principalmente: gases de efecto invernadero, partículas sólidas, agua, ruido y calor. A continuación, se han relacionado dichos medios con el impacto ambiental que generan (tabla R.2.): contaminación del agua, terreno, aire, etc. Finalmente, se ha procedido a la definición de los parámetros de relevancia y la forma de evaluarlos.

<b>Aspecto Medioambiental</b>	<b>GHG (CO<sub>2</sub>)</b>	<b>PM</b>	<b>H (H<sub>2</sub>O)</b>	<b>Calor</b>	<b>Ruido</b>
<b>Contaminación del Aire</b>	X	X		X	X
<b>Consumo de Energía</b>		X		X	X
<b>Contaminación del Terreno</b>	X	X	X	X	X
<b>Contaminación del Agua</b>	X	X	X	X	

Tabla R.2.

#### 5. Resultados

A modo de ejemplo de uso del método desarrollado e investigación crítica, se ha empleado el índice para valorar una serie de vehículos de especial mención, entre ellos los 10 modelos con mayor número de ventas en España en 2012, además de otros que ocupan puestos de referencia en sus respectivos segmentos. Con las puntuaciones trasladadas a una escala de 0 a 10, tomando la valoración del Honda Insight como máxima entre los automóviles evaluados (tabla R.3. y fig. R.1.):

<i>Clasificación por ventas</i>	<i>Clasificación por puntuación</i>
1. Renault Mégane (7.20)	1. Opel Corsa (8.74)
2. Citroën C4 (8.07)	2. Seat Ibiza (8.45)
3. Seat Ibiza (8.45)	3. Citroën C4 (8.07)
4. Nissan Qashqai (6.29)	4. Seat Leon (7.92)
5. Volkswagen Golf (6.60)	5. Citroën C3 (7.62)
6. Volkswagen Polo (7.35)	6. Volkswagen Polo (7.35)
7. Opel Corsa (8.74)	7. Renault Mégane (7.20)
8. Seat Leon (7.92)	8. Opel Astra (6.70)
9. Citroën C3 (7.62)	9. Volkswagen Golf (6.60)
10. Opel Astra (6.70)	10. Nissan Qashqai (6.29)

Tabla R.3.

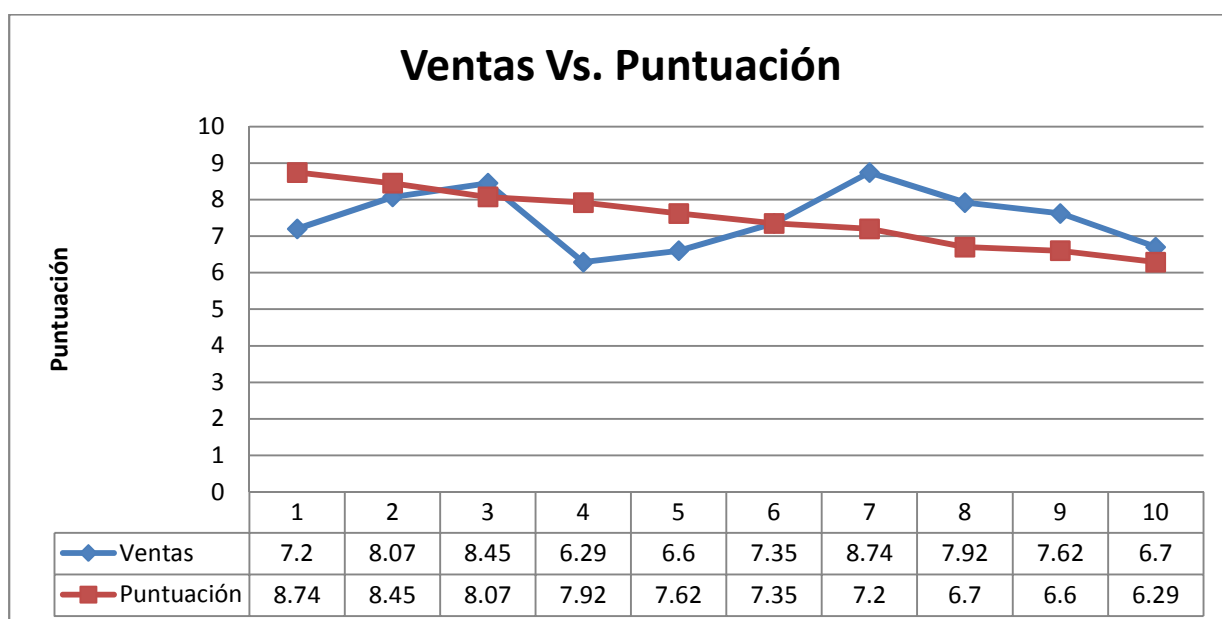


Fig. R.1.

## 6. Conclusiones

Los resultados del estudio llevado a cabo, muestran una diferencia notable entre las clasificaciones de los vehículos según su número de ventas y según las puntuaciones asignadas. Esto se atribuye principalmente a dos causas: por un lado, la falta de conocimiento o capacidad de obtener información por parte del consumidor del rendimiento ecológico de un vehículo, motivo primero de creación de este índice; y la ineficacia del Plan PIVE (Programa de Incentivos al Vehículo Eficiente), para apoyar la sustitución de vehículos antiguos por un parque automovilístico nuevo más eficiente. A pesar del éxito económico del mismo, se considera que sus criterios de eficiencia medioambiental son vagos e insuficientes, y se recomienda su sustitución por un método más completo, sin ser por ello de mayor complejidad, como el que aquí se presenta. Se evalúan dos modelos en particular (Ford

Mondeo y Mercedes-Benz Clase A), que cumpliendo los requisitos del Plan PIVE, obtienen puntuaciones considerablemente bajas en el estudio que se realiza.

Los resultados coinciden en gran medida con los que presenta el consejo americano para una economía energético-eficiente (American Council for an Energy-Efficient Economy - ACEEE), cuyos procedimientos de evaluación son más complejos y exhaustivos. Esto demuestra la validez del criterio que se presenta, tanto en eficacia como simplicidad.

Se encuadra el criterio desarrollado dentro de la filosofía de fabricación conocida como *Ecodiseño*; entendiéndose que el índice sigue las premisas de la misma para realizar valoraciones dentro del mundo del motor, no como sustitutivo, sino como síntesis y complemento.

Se espera que el método que se presenta sea útil para la libre utilización por parte de consumidores o en el desarrollo de planes y políticas desde organismos privados y administraciones. Se expone como ejemplo el Plan AIRE 2013-2016 sobre emisiones y contaminación, objeto de implantación por el Gobierno de España.

## 7. Referencias

- Programa de Incentivos al Vehículo Eficiente (Plan PIVE)

<http://www.planpive.net/>

- American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE)

<http://www.aceee.org/>

- (LUMB11)

Julio Lumbreras Martín, 2.6 Impactos del transporte en el cambio climático, calidad del aire y salud, Módulo 1. Conceptos sobre movilidad sostenible, Área Temática 2: Eficiencia energética, calidad del aire y medio ambiente: estrategias y normativas españolas y europeas, ETSII, Universidad Politécnica de Madrid, 28/01/2011

- (FERN08)

Silvia Fernández Villamarín, Mariano Jiménez calzado y Rubén Monja Sánchez. El Ingeniero del ICAI y el Desarrollo Sostenible, Capítulo 38. Ingeniería aplicada al diseño y al desarrollo sostenible de productos, págs. 371-376, Madrid, 2008

- Km77.com

<http://www.km77.com/>

# DEVELOPMENT OF A METHOD FOR THE EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF AUTOMOBILES DURING THEIR COMPLETE LIFE CYCLE (MVJN INDEX)

## 1. Introduction

It is not possible to find, in the automotive world, a simple criterion that allows any individual interested, to evaluate, in a fast and objective approach, the environmental performance of an automobile throughout its whole life cycle: from the extraction of raw materials to recycling, through manufacturing, use and maintenance; considering as well, the different kinds of energy that support these stages. Present project tries to sort out this point.

## 2. State of the technique

Most important reference that is available today in the automotive world is the study carried out and published annually by the American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE). It is a nonprofit association founded in 1980 by some of the most qualified researchers in the energetic field. Results for the greenest cars in the American market in 2013 are shown here (table A.1.):

<b>Make and Model</b>	<b>Specifications</b>	<b>Emission Standard <sup>a</sup></b>	<b>MPG: City</b>	<b>MPG: Hwy</b>	<b>Green Score</b>
<b>TOYOTA PRIUS C</b>	1.5L 4, auto	SULEV II / Bin 3	53	46	58
<b>HONDA FIT <sup>b</sup></b>	Electric (Li-ion battery)	ZEV	3.9	3.1	57
<b>TOYOTA PRIUS</b>	1.8L 4, auto	PZEV / Bin 3	51	48	55
<b>TOYOTA PRIUS PLUG-IN HYBRID <sup>c</sup></b>	Electric (Li-ion bat.) / 1.8L 4, auto CVT	PZEV / Bin 3	3.9 / 51	3.0 / 49	55
<b>HONDA CIVIC HYBRID</b>	1.5L 4, auto	PZEV / Bin 2	44	44	55
<b>HONDA INSIGHT</b>	1.3L 4, auto	Bin 3	41	44	54
<b>VOLKSWAGEN JETTA HYBRID</b>	1.4L 4, auto	PZEV / Bin 3	42	48	53
<b>MERCEDES-BENZ SMART FORTWO CONVERTIBLE / COUPE</b>	1.0L 3, manual [P]	ULEV II / Bin 5	34	38	53
<b>SCION IQ</b>	1.3L 4, auto	ULEV II / Bin 5	36	37	53
<b>FORD FOCUS <sup>b</sup></b>	Electric (Li-ion	ZEV / Bin	3.3	2.9	52

	bat.)	1			
<b>TOYOTA PRIUS V</b>	1.8L 4, auto	SULEV II / Bin 3	44	40	52
<b>FORD FUSION HYBRID / C-MAX HYBRID</b>	2.0L 4, auto	Bin 3	47	47	51
<p>[P] denotes premium gasoline.  "auto CVT" denotes continuously variable automatic transmission.  <sup>a</sup> A listing with two emission standards (e.g., Tier 2 bin 2/ PZEV) denotes a single vehicle carrying both a Federal and a California emission certification. Green Scores for such listings reflect the cleaner of the two certifications.  <sup>b</sup> Fuel economy for electric vehicles is provided in miles per kilowatt-hour.  <sup>c</sup> Fuel economy for plug-in hybrids is provided in miles per gallon for gasoline operation and in miles per kilowatt-hour for electric operation</p>					

Table A.1.

### 3. Object of the Project

There is developed a systematic, direct and easy method of evaluation; that allows the grading of a vehicle index based on 35 parameters (materials used for its manufacture, cubic capacity, place where it was built, configuration of the interior, etc.) that characterize all its main features and technologic options. Grade given to each parameter is based on an objective criterion of energy efficiency and minimum environmental damage, scientific explanations and reasoning appear detailed; and established upon an ideal-like vehicle which features appear defined. The weighted sum of the grades given to each one of the parameters, according to a relevance set for them, gives the overall mark (eq. A.1.). Coming up, there is suggested a procedure to manage the results obtained, so it makes its analysis easier, moving final grades to a scale from 0 to 100; nevertheless, it is a choice of the user to follow it or not. The method is flexible, so it can be used without considering all parameters, although a bigger number improves the quality of the grading, being the best for all 35. Data needed to operate is responsibility of the user; however, the criterion has been designed in a way that the information required is easily findable in commercial catalogues, automotive magazines, web sites, etc.

$$\sum P = R * Pa \quad (\text{Eq. A.1.})$$

#### 4. Methodology

After establishing the different phases that conform both fuel and vehicle life cycles, it has been set a ranking of the various sorts this last comes in, relating to the engine: gas, diesel, electric or hydrogen cells and hybrids of these ones. Along with it, there has been determined the types of pollution associated with each kind of engine: greenhouse gases, material particles, water, noise and heat. Next, these types have been related to the sort of environmental impact they support (table A.2.): water, ground or air pollution... Finally, there have been defined the parameters of relevance and the way to evaluate them.

<b>Enrionmental Aspect</b>	<b>GHG (CO<sub>2</sub>)</b>	<b>PM</b>	<b>H (H<sub>2</sub>O)</b>	<b>Heat</b>	<b>Noise</b>
<b>Air Pollution</b>	X	X		X	X
<b>Energy Consumption</b>		X		X	X
<b>Ground Pollution</b>	X	X	X	X	X
<b>Water Pollution</b>	X	X	X	X	

Table A.2.

#### 5. Results

For instance of the use of the method and critical investigation, it has been used to evaluate the performance of a series of vehicles, special for several reasons: top 10 sales models in Spain in 2012 and some other considered as references in their segments. With the scores set in a scale from 0 to 10, considering Honda Insight's as the top among the automobiles evaluated (table A.3. and fig. A.1.):

<b><i>Ranking by sales</i></b>	<b><i>Ranking by score</i></b>
<b>1. Renault Mégane (7.20)</b>	<b>1. Opel Corsa (8.74)</b>
<b>2. Citroën C4 (8.07)</b>	<b>2. Seat Ibiza (8.45)</b>
<b>3. Seat Ibiza (8.45)</b>	<b>3. Citroën C4 (8.07)</b>
<b>4. Nissan Qashqai (6.29)</b>	<b>4. Seat Leon (7.92)</b>
<b>5. Volkswagen Golf (6.60)</b>	<b>5. Citroën C3 (7.62)</b>
<b>6. Volkswagen Polo (7.35)</b>	<b>6. Volkswagen Polo (7.35)</b>
<b>7. Opel Corsa (8.74)</b>	<b>7. Renault Mégane (7.20)</b>
<b>8. Seat Leon (7.92)</b>	<b>8. Opel Astra (6.70)</b>
<b>9. Citroën C3 (7.62)</b>	<b>9. Volkswagen Golf (6.60)</b>
<b>10. Opel Astra (6.70)</b>	<b>10. Nissan Qashqai (6.29)</b>



Table A.3.

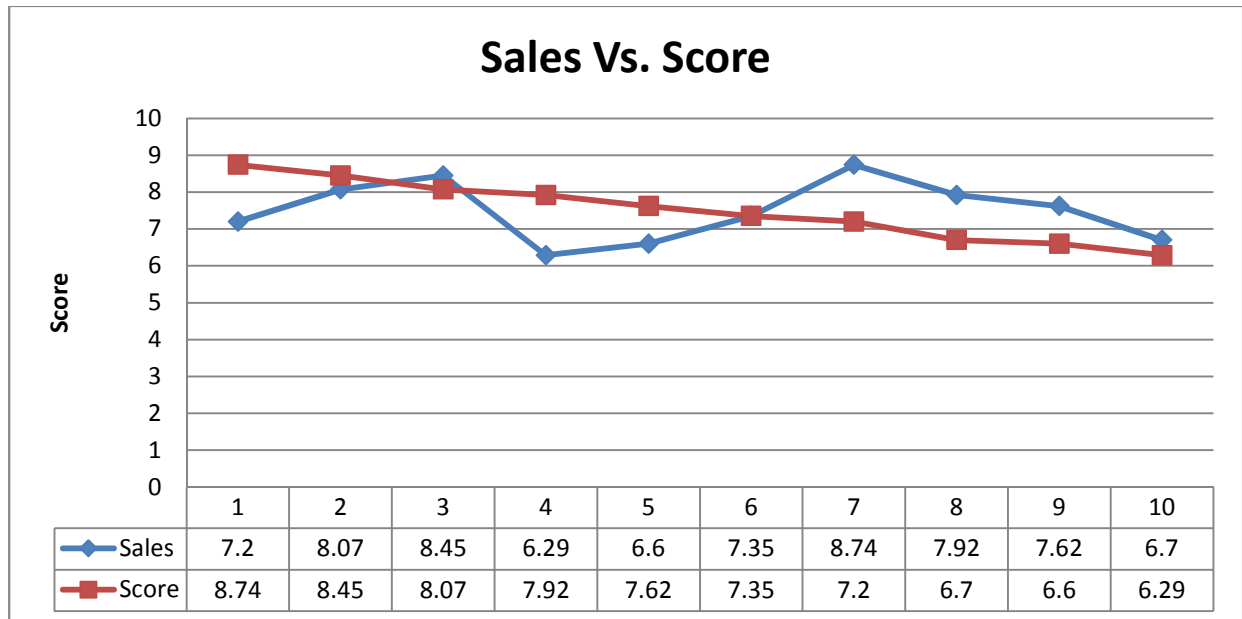


Fig. A.1.

## 6. Conclusions

Results obtained from the application of the method show a prominent difference between rankings according to sales and the one according to grades. This fact has been attributed to two causes: the lack of knowledge or capacity to get informed by consumers of the environmental performance of a vehicle, first reason this index was created for; and also the inefficiency of the PIVE Plan (financial aid program from the Spanish government to buy new more-efficient-like automobiles). Despite its economic success, its systems to evaluate the green performance of vehicles are considered too simple and insufficient, and it is recommended its substitution for a more complete method, not more complex, like the one here introduced. For example, two of the models graded: Ford Mondeo and Mercedes-Benz Class A, fulfill all the requirements of the PIVE Plan, however, their marks are notable low according to the study carried out.

Results agreed a lot with the ones presented by American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), main voice in this field, which uses more complex and deep techniques. This fact shows the validity of the criterion developed both in efficacy and simplicity.

Criterion developed has been matched within the manufacturing philosophy called *Ecodesign*; considering the index follows the same principles to make evaluations in the automotive world, not as a substitute, but as synthesis and complement.

It is expected the method presented will be useful for the free use of consumers or in the development of plans and politics from private institutions and administrations. For

instance, the AIRE Plan for emissions and pollution, which the present Spanish government pretends to implement.

## 7. References

- PIVE Plan  
<http://www.planpive.net/>
- American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE)  
<http://www.aceee.org/>
- (LUMB11)  
Julio Lumbreras Martín, 2.6 Impactos del transporte en el cambio climático, calidad del aire y salud, Módulo 1. Conceptos sobre movilidad sostenible, Área Temática 2: Eficiencia energética, calidad del aire y medio ambiente: estrategias y normativas españolas y europeas, ETSII, Universidad Politécnica de Madrid, 28/01/2011
- (FERN08)  
Silvia Fernández Villamarín, Mariano Jiménez calzado y Rubén Monja Sánchez. El Ingeniero del ICAI y el Desarrollo Sostenible, Capítulo 38. Ingeniería aplicada al diseño y al desarrollo sostenible de productos, pages 371-376, Madrid, 2008
- Km77.com  
<http://www.km77.com/>