



Desarrollo de un método para la evaluación del rendimiento medioambiental de automóviles durante su ciclo de vida completo (Índice MVJN)

Palabras clave: Eficiencia, del pozo a la rueda, parámetro de evaluación, Plan PIVE.

Key words: Efficiency, from well to wheel, parameter of evaluation, PIVE Plan.



Miguel Venta Torreiro

Ingeniero del ICAI (promoción 2013). Becario para Accenture dentro del proyecto BBVA Compass Core durante cuatro meses.



Juan De Norverto Morinigo

Ingeniero ICAI (1989). Máster Automoción (UPM), Profesor de Automotive engines en ICAI y Profesor de Motores de Combustión Interna en la Universidad Antonio de Nebrija. Experiencia profesional en automoción en las empresas Nissan, Bosch, y Millard Filters.

Resumen

Con el presente artículo se da a conocer el Índice MVJN, desarrollado como proyecto final de carrera por Miguel Venta Torreiro, dirigido por Juan de Norverto Morinigo, durante el curso académico 2012/2013 en la ETSII ICAI.

El método permite la evaluación rápida, simple y a partir de información de público dominio, del impacto medioambiental que genera un automóvil a lo largo de todo su ciclo de vida. Se pretende facilitar al consumidor la valoración efectiva del modelo que desea adquirir y compararla con la de otros vehículos; además de la mejora de los sistemas de etiquetado en los programas objeto de implantación por parte de organismos privados y administraciones (Plan PIVE, Plan AIRE, etc.).

Se ha desarrollado una aplicación del índice a 29 vehículos arrojando resultados de gran interés.

Abstract:

Present article's goal is to release the MVJN index, developed as final project matter by Miguel Venta Torreiro, directed by Juan de Norverto Morinigo, throughout the academic year 2012/2013.

The method allows a fast and simple evaluation, based on public dominion information, of the environmental damage an automobile causes during its whole life cycle. It is pretended to make it easier to the customer to evaluate effectively the model they are interested in purchasing and compare it to other vehicles; besides to improve the labeling system of different programs carried out by private organisms and administrations (PIVE Plan, AIRE Plan, etc.).

There has also carried out an evaluation of a total of 29 models, which results have great interest.

Antecedentes

La principal referencia en este campo es el Consejo Americano para una Economía Energético-eficiente (American Council for an Energy-Efficient Economy-ACEEE, <http://www.aceee.org/>), que desarrolla anualmente un estudio para evaluar el impacto ambiental de los vehículos disponibles en el mercado estadounidense y establecer una clasificación de los mismos.

El sistema empleado por este consejo es considerablemente complejo y está basado en el empleo de diversas aplicaciones de software. No obstante, evalúa el rendimiento ecológico durante todo el ciclo de vida de los vehículos; y se mejora cada año mediante la inclusión de nuevos aspectos y herramientas. Los son los resultados para 2013 se pueden ver en : http://www.greenercars.org/highlights_greenest.htm/ (ver Tabla 1).

Ciclo de vida y formas de impacto ambiental

La primera parte del proyecto consistió en la definición de las diferentes etapas que componen el ciclo de vida de un vehículo, from well to wheel (del pozo a la rueda), así como las formas de impacto que se derivan de cada una de ellas. Para ello, se dividió a los vehículos en cuatro grupos, según el tipo de carburante empleado: vehículos de motor convencional (gasolina o diésel), vehículos eléctricos o que emplean pilas de hidrógeno e híbridos de los anteriores.

Lo ideal sería acceder a toda la información sobre el ciclo de vida de un vehículo, desde la extracción de materias primas para su fabricación hasta el proceso de achatarramiento y reciclaje. Lamentablemente esta información es considerada confidencial y estratégica por parte de los fabricantes y no es posible disponer de ella.

Se relaciona el ciclo de vida de un automóvil con los siguientes medios de contaminación: gases de efecto invernadero (*Green House Gases*-GHG), partículas materiales, agua, calor y ruido. Los dos últimos, no obstante, no se tienen en cuenta en el método desarrollado a la hora de calificar un vehículo, por la dificultad existente para obtener la información relacionada con estos aspectos (ver Tabla 2).

Parámetros de evaluación

A continuación, se definieron 35 parámetros que caracterizan las diversas dimensiones físicas y tecnológicas de un automóvil, entre ellos: materiales de fabricación, sistema de inyección, sistema de arranque, cilindrada, neumáticos, filtros, refrigeración, sistema de iluminación, ocupación y carga, peso, paquetes de eficiencia, dispositivos de asistencia a la conducción,

Tabla 1. Resultados para el 2011 del estudio desarrollado y publicado anualmente por el consejo americano para una economía energético-eficiente (American Council for an Energy-Efficient Economy - ACEEE, ver: <http://www.aceee.org/>)

Fabricante y modelo	Especificaciones técnicas	Nivel de Emisiones	Consumo en ciudad (MPG)	Consumo en Autopista (MPG)	Puntuación (Green Score)
TOYOTA PRIUS C	1.5l, 4L, automático	SULEV II/Bin 3	53	46	58
HONDA FIT ^b	Eléctrico (Batería Li-ion)	ZEV	3.9	3.1	57
TOYOTA PRIUS	1.8l, 4L, automático	PZEV/Bin 3	51	48	55
TOYOTA PRIUS PLUG-IN HYBRID	Eléctrico (Batería Li-ion) 1.8l 4L, automático CVT	PZEV/Bin 3	3.9 / 51	3.0 / 49	55
HONDA CIVIC HYBRID	1.5l, 4L, automático	PZEV/Bin 2	44	44	55
HONDA INSIGHT	1.3l, 4L, automático	Bin 3	41	44	54
VOLKSWAGEN JETTA HYBRID	1.4l, 4L, automático	PZEV/Bin 3	42	48	53
MERCEDES-BENZ SMART FORTWO CONVERTIBLE / COUPE	1.0l, L3, manual [P]	ULEV II/Bin 5	34	38	53
SCION IQ	1.3l, 4L, automático	ULEV II/Bin 5	36	37	53
FORD FOCUS ^b	Eléctrico (Batería Li-ion)	ZEV/Bin 1	3.3	2.9	52
TOYOTA PRIUS V	1.8l, 4L, automático	SULEV II/Bin 3	44	40	52
FORD FUSION HYBRID /					
C-MAX HYBRID	2.0l, 4L, automático	Bin 3	47	47	51

ACLARACIONES A LA TABLA:

[P] Categoría gasolina Premium.

CVT: Transmisión continua variable.

^a Cuando un vehículo cumple dos niveles de emisiones, se ha colocado el dato de la mejor de ellas.

^b Consumo de combustible para vehículos eléctricos medido en millas por kilovatio-hora.

^c Consumo de combustible para híbridos enchufables (Plug-in). Se mide en millas recorridas por galón de combustible en uso de motor de combustión y millas por kilovatio-hora en modo eléctrico.

Tabla 2. Relación medios de contaminación y formas de impacto ambiental

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

color, configuración del habitáculo, transmisión, ralentí, tracción, autonomía, garantía, sistema de frenado, lugar de fabricación...

A partir de la especificación de un vehículo considerado como ideal, se estableció un sistema de puntuación basado en un criterio lógico de preferencia según aprovechamiento energético o mínimo impacto ambiental.

Tabla 3. Descripción parámetro a parámetro del vehículo ideal usado como referencia

Parámetro	Vehículo ideal
1. Dimensiones (A)	Lo más compacto y adaptado a su uso en cuanto a pasajeros y a carga. Mejor cuanto más cercano al 100% de uso se encuentre.
2. Materiales de fabricación (A)	Lo más ligero posible. El peso aumenta el consumo. Afecta de manera lineal con la velocidad en las resistencias a la rodadura y rampa. Proporcional en las aceleraciones.
3. Acabado interior (C)	El óptimo: Lo más resistente y con origen reciclado.
4. Color (C)	Blanco. Reduce consumo de AC en verano.
5. Origen (B)	Próximo al lugar de venta. El propio transporte hasta el cliente conlleva su impacto.
6. Lotes de fabricación (A)	Mayor número posible de vehículos fabricados para optimizar el uso de materiales y energía.
7. Cilindrada (A)	La más pequeña para la potencia necesaria para circular a 140 Km/h. Ésta debería ser la velocidad máxima objetivo.
8. Circulación (A)	Carretera. Circulación urbana difiere de la extraurbana. Se consiguen mejores optimizaciones a velocidad constante.
9. Tracción (B)	Total: lo más desfavorable. Ideal: delantera por menor número de componentes y sencillez y peso.
10. Terreno (B)	Pavimento recto infinito. Tipo de superficie sobre la que se circula influye en el consumo. El coeficiente de rodadura varía de manera notable según el tipo de calzada.
11. Neumáticos (A)	Baja resistencia a la rodadura. Tipo AAA o AA. Se obtiene de la etiqueta ecológica del neumático.
12. Inyección (A)	Multipunto y directa en gasolina. Muy alta presión en diésel.
13. Ocupación y carga (A)	Máximos. Optimizar el aprovechamiento.
14. Ralentí (B)	Start/Stop.
15. Transmisión (A)	Cambio continuo. Una automática de muchas relaciones y luego manual. Lo peor: viejas cajas automáticas con mucho resbalamiento y pocas relaciones de cambio.
16. Autonomía (A)	Objetivo: 1l/100 km. Mínimo consumo, mínimo depósito.
17. Climatización (C)	Compresor de cilindrada variable, aprovechamiento de gases de escape, cristales con filtro IR para verano.
18. Refrigeración (C)	Ídem al anterior.
19. Asistencia a la conducción (B)	Control de velocidad, asistencia al frenado, aviso de tráfico y rutas alternativas.
20. Catalizador (A)	Existencia de los mismos. Normativa de emisiones cumplida.
21. Velocidad, aceleración, potencia y par (A)	Los adecuados para el uso. Evitar la sobre-especificación.
22. Peso (C)	El mínimo.
23. Antigüedad (B)	Sin envejecimiento.
24. Dedicación (A)	Privada. Uso máximo.
25. Paquetes de eficiencia (A)	Uso de paquete de eficiencia desarrollado por la marca para ese modelo.
26. Aerodinámica (A)	Cuanto más baja, mejor. Perfil de ala (Cx=0.05).
27. Combustible (A)	Electricidad, híbrido, diésel, gasolina en orden decreciente. Se evalúa el rendimiento total.
28. Sistema de arranque (B)	Más eficiente y respetuoso posible. Sistemas start stop evitan el componente motor de arranque.
29. Sistema de iluminación (C)	Leds. Menor consumo posible.
30. Fiabilidad y garantía (A)	Indefinidos.
31. Filtros (A)	Larga vida.
32. Sistema de frenado (C)	Regeneración de energía. KERS, eLoop.
33. Legislación (A)	Lo más restrictiva posible.
34. Configuración del habitáculo (C)	Mejor aprovechamiento.
35. Normativa Euro VI (B)	Cumple con la misma. Máxima puntuación al ser la normativa actual más estricta.

Se expone aquí, la definición de los parámetros de evaluación para dicho vehículo ideal, como forma de entender la elección de dichos parámetros y cómo se entiende que un automóvil reduce su impacto ambiental, cuando los propios se acercan a los del ideal (ver Tabla 3).

En el presente estudio se proponen los factores de importancia relativa que se detallan en las Tablas 4, 5 y 6.

La puntuación final del automóvil evaluado se obtiene como ponderación según el nivel de relevancia asignado de las puntuaciones otorgadas por parámetro. Se sugiere, además, un sistema sencillo de tratamiento de resultados para encuadrarlos en una escala de 0 a 100 puntos, y así facilitar su análisis. Esta ecuación se obtiene por elección de los autores en base a obtener una ponderación neutral para todos los vehículos y para ser utilizada como punto de partida para futuros desarrollos del índice aquí presentado.

$$\sum P = R \cdot Pa$$

Estudio de una serie de automóviles de especial mención

Empleando el método establecido, se evaluó el desempeño de diversos vehículos, entre ellos, aquellos 10 mo-

Tabla 4. Factores de importancia relativa para prestaciones			
Velocidad Máx. (km/h)	V>150	120<V<150	V<120
Puntuación	1	3	2
Aceleración (s para 0-100 km/h)	A>11	9<A<11	A<9
Puntuación	3	2	1
Potencia (CV/rpm)	CV>200/ rpm<4000	100<CV<200/ 4000<rpm<6000	CV<100/ rpm>6000
Puntuación	3	2	1
Par (Nm/rpm)	Nm>350/ rpm<2500	200<Nm<350/ 2500<rpm<4500	Nm<200/ rpm>4500
Puntuación	3	2	1

Tabla 5. Factores de importancia relativa para la garantía			
Garantía (años)	G>5	2<G<5	G<2
Puntuación	3	2	1

Tabla 6. Factores de importancia relativa para la configuración del habitáculo			
Configuración	Ranchera/SUV	Berlina/Sedan	Compacto/Coupé
Puntuación	3	2	1

delos con mayor número de ventas en España en 2012, considerando una motorización gasolina y otra diésel par cada modelo. Además, se incluyó la va-

loración de otros automóviles, puntos de referencia dentro de su segmento: Nissan Leaf (eléctricos), Toyota Prius y Honda Insight (híbridos), Ferrari 458



Tabla 7. Aplicación del método a una serie de vehículos de interés, puntuación en escala 0 a 100 puntos

Modelo	Puntuación
1. Honda Insight	47.89
2. Nissan Leaf	47.19
3. Toyota Prius	46.04
4. Opel Corsa (1.3 CDTI ECOTEC 95)	41.86
5. Seat Ibiza (Style 1.6 TDI CR 90)	40.45
6. Smart Fortwo (CDI 54)	40.32
7. Opel Corsa (1.2 ECOTEC 85)	38.95
8. Citroën C4 (e-HDi 115 Airdream 6v)	38.66
9. Ford Mondeo (2.0 TDCi 140)	38.61
10. Seat Leon (Style 1.4 TSI 122)	37.91
11. Seat Leon (Style 1.6 TDI CR 105)	37.55
12. Smart Fortwo (Mind 71)	37.05
13. Opel Astra (2.0 CDTI ECOTEC 165)	36.78
14. Citroën C3 (HDi 90)	36.49
15. Mercedes-Benz Clase A (180 CDI)	36.31
16. Seat Ibiza (Style 1.6 81)	35.73
17. Volkswagen Polo (1.6 TDI 90)	35.22
18. Renault Mégane (Energy dCi 110)	34.50
19. Volkswagen Polo (1.2 TSI 90)	34.13
20. Renault Mégane (Energy TCe 115)	33.76
21. Citroën C3 (VTi 82)	33.22
22. Opel Astra (1.4 Turbo ECOTEC 140)	32.07
23. Volkswagen Golf (1.4 TSI 122)	31.61
24. Ferrari 458 Italia	30.68
25. Nissan Qashqai (1.6 dCi 130)	30.13
26. Volkswagen Golf (2.0 TDI 140)	29.43
27. Porsche 911 S 3.4	29.24
28. Citroën C4 (VTi 120)	26.69
29. Nissan Qashqai (2.0i 140)	24.33

y Porsche 911 S (*superlujo*), etc. Se obtuvieron una serie de puntuaciones, tras el ajuste a una escala de 0 a 100 puntos (ver Tabla 7).

La similitud en los modelos de mayor puntuación con el estudio de la asociación americana, sirven como prueba de la validez y eficacia del Índice MVJN, teniendo en cuenta además su mayor simplicidad.

Se expone a modo de ejemplo las puntuaciones individualizadas por parámetro, siguiendo los criterios de preferencia establecidos por el método, en la valoración del Seat Ibiza (Style 1.6 TDI CR 90), a partir de sus características propias. Estas puntuaciones han sido otorgadas por los

autores y buscan ser útiles a la hora de establecer *comparaciones* entre modelos.

Los espacios en blanco no se evalúan en el estudio llevado a cabo por simplificación si bien el índice se considera más preciso cuantos más parámetros son evaluados por vehículo. Tras el paso a una escala de 0 a 100 puntos, la valoración final sería de 40.45.

Crítica al Plan PIVE

A pesar del éxito económico del Plan PIVE, se considera que sus criterios para evaluar el rendimiento medioambiental de vehículos son vagos e insuficientes, ya que solo emplea la economía de combustible y las emisiones de CO₂ de cada automóvil (ver Tabla 10).

Los precios entre vehículos de la misma categoría no son influyentes ya que todas las marcas y modelos aquí presentados tienen sus listas de precios ajustados de modo que el factor precio no es decisivo para los clientes. Las excepciones podrían ser los vehículos Premium o procedentes de Corea u otros países emergentes, pero como podemos observar, no parecen en la lista.

A modo de crítica, se citan además las puntuaciones obtenidas en el estudio realizado por el Ford Mondeo (38.61) y el Mercedes-Benz Clase A (36.31), las cuales son considerablemente bajas, si bien estos vehículos son aptos para recibir la subvención que el plan otorga.



**Tabla 8. Características del modelo Seat Ibiza
(Style 1.6 TDI CR 90)**

Parámetro	Descripción
1. Dimensiones (A)	Altura (H)= 1.445 m Ancho (D)= 1.713 m Longitud (L)= 4.052 m
2. Materiales de fabricación (A)	
3. Acabado interior (C)	Aloe (Tela sintética y cuero)
4. Color (C)	Claro (Mayoría de opciones: 10/14)
5. Origen (B)	España
6. Lotes de fabricación (A)	
7. Cilindrada (A)	90 CV - 1598 cm ³
8. Circulación (A)	
9. Tracción (B)	Delantera
10. Terreno (B)	
11. Neumáticos (A)	
12. Inyección (A)	Common Rail
13. Ocupación y carga (A)	
14. Ralentí (B)	Start/Stop
15. Transmisión (A)	Manual - 5 vel.
16. Autonomía (A)	45 l - 4.2 l/100 km
17. Climatización (C)	Climatizador manual
18. Refrigeración (C)	
19. Asistencia a la conducción (B)	5 dispositivos
20. Catalizador (A)	
21. Velocidad, aceleración, potencia y par (A)	178 km/h - 11.8 s - 90/4200 CV/rpm - 230/2000 Nm/rpm
22. Peso (C)	1170 kg
23. Antigüedad (B)	
24. Dedicación (A)	
25. Paquetes de eficiencia (A)	EPAS + Powershift
26. Aerodinámica (A)	0.31
27. Combustible (A)	Convencional (Diésel)
28. Sistema de arranque (B)	
29. Sistema de iluminación (C)	Halógena
30. Fiabilidad y garantía (A)	2 años
31. Filtros (A)	
32. Sistema de frenado (C)	Disco + ABS + KERS
33. Legislación (A)	Europa
34. Configuración del habitáculo (C)	Berlina
35. Normativa Euro VI (B)	No (Euro V)

**Tabla 9. Puntuaciones del modelo Seat Ibiza
(Style 1.6 TDI CR 90)**

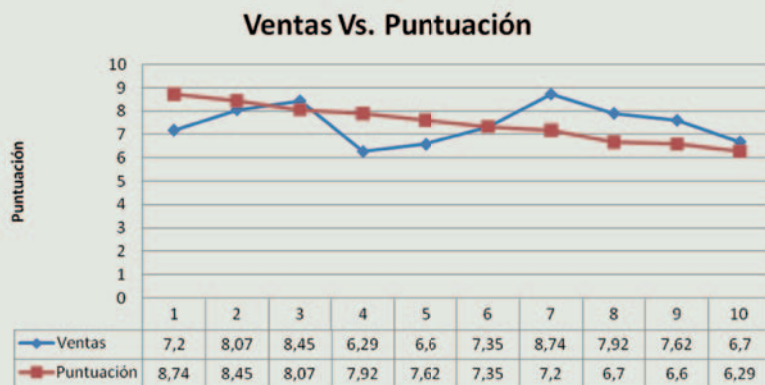
Parámetro	Puntuación
1. Dimensiones (A)	3
2. Materiales de fabricación (A)	
3. Acabado interior (C)	2.5
4. Color (C)	3
5. Origen (B)	4
6. Lotes de fabricación (A)	
7. Cilindrada (A)	0
8. Circulación (A)	
9. Tracción (B)	4
10. Terreno (B)	
11. Neumáticos (A)	
12. Inyección (A)	4
13. Ocupación y carga (A)	
14. Ralentí (B)	3
15. Transmisión (A)	1
16. Autonomía (A)	6
17. Climatización (C)	2
18. Refrigeración (C)	
19. Asistencia a la conducción (B)	5
20. Catalizador (A)	
21. Velocidad, aceleración, potencia y par (A)	12
22. Peso (C)	3
23. Antigüedad (B)	
24. Dedicación (A)	
25. Paquetes de eficiencia (A)	4
26. Aerodinámica (A)	2
27. Combustible (A)	1
28. Sistema de arranque (B)	
29. Sistema de iluminación (C)	2
30. Fiabilidad y garantía (A)	2
31. Filtros (A)	
32. Sistema de frenado (C)	6
33. Legislación (A)	3
34. Configuración del habitáculo (C)	2
35. Normativa Euro VI (B)	0
Total	55.33

Tabla 10. Comparación de la clasificación según el número de ventas y según la puntuación del método en escala 0 a 10, tomando como máxima la puntuación del Honda Insight

Clasificación por ventas	Clasificación por puntuación
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)

Véase, como ejemplo, las discrepancias entre las clasificaciones según ventas y puntuación (ahora las puntuaciones se han trasladado a una escala de 0 a 10, tomando la valoración del Honda Insight como máxima).

Figura 1. Gráfica comparativa de la Tabla 10



Conclusiones

Se considera que Índice MVJN es rápido, sencillo y efectivo en la valoración del impacto ambiental que genera un vehículo durante todo su ciclo de vida.

Se espera que sirva como criterio base no solo a consumidores sino también a organismos públicos y entidades privadas en el desarrollo y aplicación de sus bases y programas.

Se pone en duda la completa efectividad del Plan PIVE a la hora de renovar el parque automovilístico español por uno más eficiente. Se debería utilizar un criterio más completo como el presentado en este artículo para asegurar que los fondos van a parar a la compra de vehículos globalmente más sostenibles.

Los autores están a la disposición de todos aquellos que deseen conocer más acerca del índice y sus ponderaciones internas y externas. ■



Bibliografía

1. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). <http://www.idae.es/>
2. Programa de Incentivos al Vehículo Eficiente (Plan PIVE). <http://www.planpive.net/>
3. American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE). <http://www.aceee.org/>
4. Asociación Nacional de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC). <http://www.anfac.com/portada.action/>
5. (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.