

Artículo

Impactos de la gasolina con mezcla de etanol en la salud

Tom Beer^{1*}, John Carras², David Worth³, Nick Coplin³, Peter K. Campbell^{1,†}, Bin Jalaludin⁴, Dennys Angove², Merched Azzi², Steve Brown⁵, Ian Campbell², Martin Cope¹, Owen Farrell², Ian Galbally¹, Stephen Haiser², Brendan Halliburton², Robert Hynes^{2,†}, David Jacyna², Melita Keywood¹, Steven Lavrencic², Sarah Lawson¹, Sunhee Lee¹, Imants Liepa^{2,†}, James McGregor², Peter Nancarrow^{2,†}, Michael Patterson², Jennifer Powell¹, Anne Tibbett², Jason Ward¹, Stephen White², David Williams² y Rosemary Wood^{2,†}

1 CSIRO, Investigación Marina y Atmosférica, PB1, Aspendale Vic. 3125, Australia; Correos electrónicos: purplepete@gmail.com (P.K.C.); martin.cope@csiro.au (M.C.); ian.galbally@csiro.au (I.G.); melita.keywood@csiro.au (M.K.); sarah.lawson@csiro.au (S.L.); sunhee.lee@csiro.au (S.L.); jennifer.powell@csiro.au (J.P.); jason.ward@csiro.au (J.W.)

2 CSIRO, Energy Technology, Lucas Heights, NSW, 2234, Australia; Correos electrónicos: john.carras@csiro.au (J.C.); dennys.angove@csiro.au (D.A.); merched.azzi@csiro.au (M.A.); ian.campbell@csiro.au (I.C.); owen.farrell@csiro.au (O.F.); steve.haiser@csiro.au (S.H.); brendan.halliburton@csiro.au (B.H.); ob.hynes@worleyparsons.com (R.H.); david.jacyna@csiro.au (D.J.); steve.lavrencic@csiro.au (S.L.); james.mcgregor@csiro.au (J.M.); petite@iprimus.com.au (P.N.); michael.patterson@csiro.au (M.P.); anne.tibbett@csiro.au (A.T.); stephen.j.white@csiro.au (S.W.); david.williams@csiro.au (D.W.)

3 Orbital Australia, Balcatta, WA, 6021, Australia; Correos electrónicos: dworth@orbitalcorp.com.au (D.V.); ncoplin@orbitalcorp.com.au (N.C.)

4 Centre de Investigación, Manejo de Evidencias y Vigilancia, SSWAHS, Australia; Correo electrónico: b.jalaludin@unsw.edu.au

5 Diesel Test Australia, PO Box 400 Kenthurst 2156 NSW, Australia; Correo electrónico: sdabrown@ozemail.com.au

† Estos autores se han retirado.

* Autor para correspondencia: Correo electrónico: tom.beer@csiro.au; Tel.: +61-3-9239-4400; Fax: +61-3-9239-4444.

Recibido: 9 de diciembre de 2010; en forma revisada: 19 de diciembre de 2010 / Aceptado: 16 de febrero de 2011 /

Publicado: 21 de febrero de 2011

Resumen: Un programa de medición diseñado para evaluar los impactos o beneficios para la salud del uso de gasolina con mezcla de etanol analizó las emisiones por evaporación y gases de escape de 21 vehículos

representativos de la actual flota australiana de vehículos de carga ligera que operan con gasolina, mediante el uso de un ciclo de manejo compuesto de emisiones urbanas. Los combustibles utilizados fueron gasolina sin plomo (ULP, por sus siglas en inglés), ULP mezclada ya sea con etanol al 5% (E5) o con etanol al 10% (E10). Los datos resultantes se combinaron con los datos existentes para Sídney para determinar las emisiones esperadas de la flota para distintas adopciones de combustible mezclado con etanol. Se estimó que la compatibilidad de la flota con el etanol sería del 60% para el 2006 mientras que, para los modelos de calidad del aire, se supuso que en el 2011 más del 95% de la flota sería compatible con el etanol. La formación de aerosol orgánico secundario (SOA, por sus siglas en inglés) a partir de emisiones de ULP, E5 y E10 fue estudiada bajo condiciones controladas mediante el uso de una cámara de esmog. Esto se combinó con datos meteorológicos de Sídney para febrero de 2004 y los datos de las emisiones (tanto los datos producto de la medición como los datos existentes) para crear modelos de las concentraciones de contaminantes en la cuenca atmosférica de Sídney para 2006 y 2011. Estas concentraciones se combinaron con la distribución de la población para evaluar la exposición de la población al contaminante. Existe un beneficio para la salud de la población de Sídney, el cual se deriva de un desplazamiento de la gasolina sin plomo (ULP) a mezclas de etanol en los vehículos de encendido por chispa. Se estima que los ahorros potenciales en los costos de salud para Australia Urbana (Sídney, Melbourne, Brisbane y Perth) son de 39 millones de dólares australianos (A\$) (en dólares de 2007) para una adopción del 50% (por parte de los vehículos compatibles con etanol) de E10 en el 2006 y de \$42 millones anuales para una adopción del 100% de E10 en el 2011. Más del 97% de los ahorros estimados en salud se deben a la reducción en las emisiones de partículas suspendidas $PM_{2.5}$ y a los consecuentes impactos de la reducción en la mortalidad y morbilidad (p.ej., asma, enfermedad cardiovascular). Aunque se prevé que en 2011 haya más vehículos que operen con gasolina, el diferencial del impacto en la salud cuantificado entre los vehículos que utilizan ULP y etanol como combustible, desciende de 2006 a 2011. Esto se debe a que los vehículos de gasolina modernos, con emisiones inferiores en comparación con sus contrapartes de mayor antigüedad, conformarán una proporción más alta de la flota en el futuro. Por lo tanto, los efectos benéficos de las reducciones en las partículas se tornan menos significativos a medida que la flota en general produce menos emisiones.

Palabras clave: etanol; impactos en la salud; emisiones de los automóviles

1. Antecedentes

En el 2005, la Comisión Especial de Biocombustibles (*Biocombustibles Taskforce*) del Gobierno de Australia reportó que el impacto en el medio ambiente y la salud humana del uso del etanol como biocombustible, constituía un asunto de la mayor importancia que requería de una resolución para orientar las medidas de la política nacional dirigidas a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Las cuestiones enfatizadas fueron las siguientes: (i) los cambios potenciales en las emisiones de partículas suspendidas (PM, por sus siglas en inglés) de la gasolina mezclada con etanol; (ii) los cambios en la formación de partículas secundarias como resultado de las emisiones por evaporación y de gases de escape; (iii) las evaluaciones de tales emisiones bajo las condiciones australianas; y, una vez que se hubieren establecido tales cambios; (iv) la cuantificación de los costos y beneficios para la salud de la introducción de gasolina mezclada con etanol en Australia.

A partir de marzo de 2007, se emprendió un estudio en cinco partes para determinar las emisiones de los vehículos de carga ligera que utilizan gasolina, una mezcla de 5% de etanol en la gasolina (E5) y una mezcla de 10% de etanol en la gasolina (E10). El programa de trabajo consistió de lo siguiente:

- (1) Medición de las emisiones de gases de escape
- (2) Medición de las emisiones por evaporación

- (3) Cuantificación de la formación de partículas secundarias
- (4) Impactos de E5 y E10 sobre el esmog fotoquímico
- (5) Impactos de E5 y E10 en la salud

Los resultados experimentales fueron aplicados a un modelo de contaminación del aire para evaluar los impactos de E5 y E10 sobre el esmog fotoquímico. Finalmente, los resultados experimentales y los resultados de creación de modelos se utilizaron para calcular el impacto del uso de E5 y E10 sobre la salud. Los resultados detallados del estudio (incluyendo los resultados individuales de los vehículos) se encuentran disponibles en el sitio electrónico del Departamento Australiano del Medio Ambiente, el Agua, el Patrimonio y las Artes [1], así como en [2] y [3].

Añadir cantidades tan pequeñas de etanol a la gasolina incrementa la presión del vapor, lo cual aumenta las emisiones por evaporación. El oxígeno en el etanol altera las características de combustión del combustible, haciendo que las emisiones del tubo de escape tengan un perfil químico distinto.

La concentración de un contaminante del aire proporciona una medida aproximada de la dosis de un contaminante del aire inhalada por un individuo. Se trata de una medida aproximada porque los individuos presentan variaciones en cuanto a la frecuencia de la inhalación y el volumen inhalado. Los individuos también se desplazan de un lado a otro, de manera que sus dosis se relacionan con la distribución espacial de las concentraciones a las que han estado expuestos. La relación entre la dosis de un contaminante del aire y el impacto en la salud se cuantifica mediante una relación dosis-respuesta.

La exposición de un individuo representa la dosis acumulada derivada de un cierto periodo de tiempo. La exposición de la población es la exposición calculada para toda la población sujeta al contaminante presente dentro de la cuenca atmosférica.

2. Método

El programa de medición se diseñó para examinar los vehículos representativos de la actual flota australiana de vehículos de carga ligera que operan con gasolina. Esto se logró seleccionando las marcas y modelos de vehículos con la mayor representación en la flota australiana, la adaptabilidad al etanol y el sistema de control de emisiones. Se seleccionó una muestra representativa de 21 vehículos de la flota australiana de vehículos sedán, con base en los criterios anteriores para las pruebas de emisiones. Todos los vehículos fueron sometidos a prueba en relación con las emisiones de escape y un subconjunto de los mismos fue sometido a prueba en relación con las emisiones por evaporación. Los vehículos fueron sometidos a prueba a lo largo de un ciclo de manejo compuesto de emisiones urbanas (CUEDC, por sus siglas en inglés) para vehículos de carga ligera [4], que comprendió cuatro fases— arranque en frío en reposo, en vías principales, en autopistas y en congestionamientos de tránsito. Se utilizó el protocolo de prueba ADR79/01 para medir las emisiones por evaporación diurnas y de inmersión en caliente. Se realizaron mediciones de los hidrocarburos totales, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, metano, dióxido de carbono, óxido nítrico, compuestos orgánicos volátiles (VOC, por sus siglas en inglés) carbonílicos y tóxicos del aire como 1,3-butadieno e hidrocarburos precursores de ozono. Se determinó la especiación de más de 100 compuestos VOC. El análisis de partículas se centró en las partículas suspendidas con un diámetro de 2.5 micras ($PM_{2.5}$) y también se realizaron mediciones para determinar en general la concentración numérica y el tamaño de partícula. $PM_{2.5}$ incluye una masa de partículas con un diámetro menor a 2.5 μm , medidos gravimétricamente.

Las emisiones de gases de escape fueron examinadas para los compuestos orgánicos volátiles y tóxicos del aire, mientras que la instalación de la cámara de esmog de CSIRO se utilizó para simular los procesos fotoquímicos y la formación de ozono y aerosol orgánico secundario (SOA) para las emisiones que son específicas para los combustibles mezclados con E5 y E10.

Los datos de las emisiones de los vehículos (de escape y por evaporación) se utilizaron para determinar la cantidad y tipos de contaminantes. Los datos de este estudio se combinaron con los datos existentes para

Sídney para determinar las emisiones esperadas de la flota para esta ciudad. Adicionalmente, los datos de las partículas suspendidas (PM) existentes se actualizaron con los resultados preliminares del estudio NISE2 [4], especificando el nivel para los vehículos que utilizan gasolina en 5 mg/km para el periodo comprendido entre 1994 y 1998. Se estimó que la compatibilidad de la flota con el etanol sería del 60% para el 2006, mientras que, para la creación de modelos de calidad del aire, se supuso que, en el 2011, más del 95% de la flota sería compatible con el etanol. La distancia y el tipo de caminos recorridos por los vehículos se calcularon como Kilómetros Recorridos por Vehículo (VKT, por sus siglas en inglés) y se utilizaron en la creación de modelos.

Los resultados de los programas de medición y los estudios en la cámara de esmog se utilizaron entonces en estudios de creación de modelos de calidad del aire. Mediante el uso de las condiciones meteorológicas reales, con la proyección de los factores de emisión y cifras de la flota de vehículos, se simularon las condiciones de la cuenca atmosférica para un uso determinado de los combustibles mezclados con E5 y E10 en Sídney. Los resultados también fueron extrapolados a Melbourne, Brisbane y Perth.

Los datos meteorológicos y de las emisiones se combinaron para crear un modelo del desarrollo de SOA y el esmog fotoquímico, así como otros contaminantes parámetro, como las partículas suspendidas y el dióxido de nitrógeno. Los datos meteorológicos de Sídney para febrero de 2004 se combinaron con los datos de las emisiones (tanto los datos producto de la medición como los datos existentes) para modelar las concentraciones de contaminantes en la cuenca atmosférica de Sídney para 2006 y 2011. Estas concentraciones se combinaron con la distribución de la población para evaluar la exposición de la población al contaminante. Los resultados obtenidos de la creación de modelos de calidad del aire en la cuenca atmosférica de Sídney, se usaron para estimar los impactos cuantificados en la salud (medidos en ahorros potenciales en los costos de salud) del uso de hasta diez por ciento de etanol mezclado con la gasolina.

3. Resumen de los resultados de las pruebas

3.1. Medición de las emisiones de gases de escape

Las emisiones del tubo de escape de los vehículos mostraron que las emisiones de $PM_{2.5}$ se reducen cuando operan con mezclas de etanol (Figura 1). Con frecuencia, la reducción de partículas suspendidas (PM) con las mezclas de etanol fue estadísticamente significativa para los vehículos individuales. Las emisiones de PM al operar con gasolina libre de plomo (ULP) en general se incrementaron con el millaje acumulado del vehículo, habiendo muchos pares de modelos de vehículos en la flota de prueba que mostraron este comportamiento. En términos absolutos, se encontró en general que las emisiones de PM al operar con ULP a lo largo del ciclo de manejo CUEDC en arranque frío, eran inferiores a 5mg/km (el límite establecido por la norma Euro 5 para vehículos sedán de inyección directa de gasolina y diesel).

Las emisiones de $PM_{2.5}$ de los tubos de escape de los vehículos modelo 2006+ que fueron sometidos a prueba, mostraron una reducción del 19% al usar E5 y una reducción del 33% al usar E10.

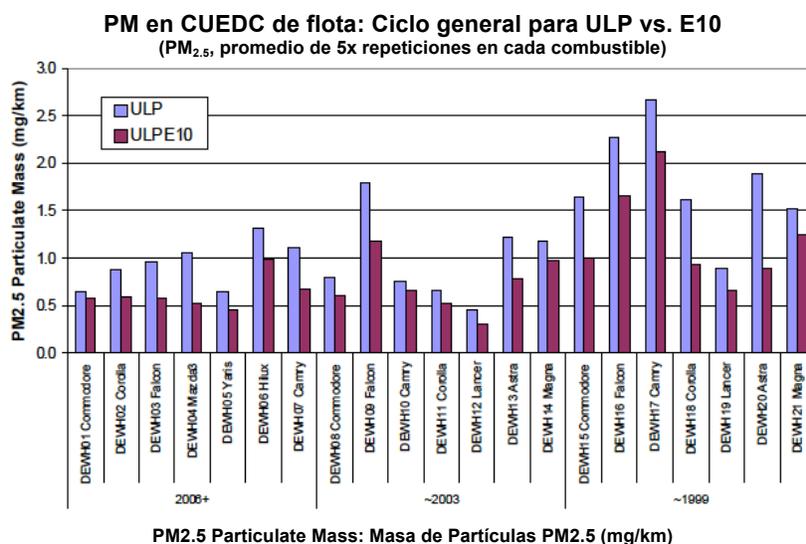
Los datos de tamaño y distribución de partículas sugieren que aproximadamente el 94% de las emisiones de partículas suspendidas (PM) se encuentra presente en forma de $PM_{2.5}$ y aproximadamente el 85% en forma de PM_{1} .

Los efectos de las mezclas de etanol sobre las emisiones reguladas —hidrocarburos totales (THC) y monóxido de carbono (CO)— generalmente siguen la tendencia bien establecida para el uso de un combustible oxigenado, como los combustibles con mezclas de etanol. Las emisiones de THC y CO generalmente se reducen con los incrementos en el contenido de etanol, mientras que las emisiones de NOx no muestran una tendencia tan clara [1].

Las principales emisiones de carbonilos fueron formaldehído y acetaldehído. El formaldehído permaneció igual o se incrementó para los vehículos individuales, con una cierta indicación de una tendencia general ascendente a medida que se incrementaba el contenido de etanol de la mezcla de combustible. Se observó que las emisiones de acetaldehído se incrementaban significativamente a medida que se incrementaba el contenido de etanol de la mezcla de combustible. Se observó una tasa promedio de emisiones de flota tres

veces mayor para E10, en comparación con ULP. Esto es consistente con otros estudios que reportan un cambio pequeño o nulo en el formaldehído e incrementos significativos en el acetaldehído para las mezclas con bajo contenido de etanol [5–7].

Figura 1. Comparación de las emisiones de PM_{2.5} para los vehículos que utilizan ULP y E10 al ser sometidos a prueba en el Ciclo de Manejo Compuesto de Emisiones Urbanas (CUEDC).



Las emisiones tóxicas para el aire de BTEX, 1,3-butadieno y estireno en general tienen tendencia a la baja al incrementarse el contenido de etanol del combustible, al igual que los hidrocarburos precursores de ozono. Hay algunos vehículos para los cuales las tendencias son inconsistentes o para los que el cambio no es significativo, en particular cuando la tasa de emisiones es extremadamente baja, como en el caso del estireno. Estas emisiones se encuentran dominadas por el desempeño post-tratamiento del vehículo en la parte de arranque en frío del ciclo CUEDC. Como resultado de ello, las tendencias son más fáciles de observar si se examinan los resultados del arranque en frío, en particular para los vehículos de mayor antigüedad, en donde el catalizador ha mostrado signos de degradación.

El nivel medido de las emisiones de alcohol del escape del vehículo resultó muy bajo. En general, los vehículos de mayor antigüedad emiten etanol y algunos también emiten metanol, ya sea con mezclas de combustible de E5 ó E10, y éstos se incrementan con el contenido de etanol del combustible. La emisión de metanol podría ser resultado de una mala combustión, o bien de la presencia de una combustión que va más allá de combustión estequiométrica durante el calentamiento en algunos de estos vehículos de mayor antigüedad. Aunque algunos vehículos más recientes emiten etanol al operar con la mezcla de E10, el nivel de emisión de los vehículos más recientes resultó muy bajo, en comparación con los vehículos de mayor antigüedad.

3.2. Medición de las emisiones por evaporación

Las pruebas de emisiones por evaporación de los vehículos muestran que las emisiones de THC están en función de las propiedades de vapor del combustible. La adición de etanol a la gasolina libre de plomo (ULP) base afecta la presión del vapor, así como la volatilidad de la mezcla. Los combustibles con pequeñas cantidades de etanol, como E5 y E10, tienen una mayor volatilidad que la gasolina ULP base a la que se añade el etanol. El valor absoluto de la volatilidad de las mezclas con bajo contenido de etanol, es sensible a la química de base del combustible ULP con el que se mezcla. Según lo esperado, al mezclarse con las existencias de ULP de base que se utilizaron en el presente estudio, la mezcla de E5 presentó una presión de

vapor más alta que la mezcla de E10. Como tales, se observa que las emisiones de THC de los vehículos sometidos a prueba con E5 son más altas que aquellas cuando la prueba se realiza con E10, siendo la gasolina ULP la que arroja las emisiones más bajas. En términos relativos, E5 generalmente conduce por lo menos a la duplicación de las emisiones de THC por evaporación, mientras que las emisiones de E10 son 50% más altas que con ULP. Estas tendencias son similares a aquellas en otros estudios.

Cada una de las normas australianas para las emisiones de los vehículos, es determinada por la Norma de Diseño de Australia (ADR, por sus siglas en inglés). En el momento en que se realizó el presente estudio, los vehículos de gasolina y gas licuado de petróleo (LPG, por sus siglas en inglés) debían cumplir con la prueba de certificación ADR 79/01, que introducía las normas de emisión Euro 3 para los vehículos ligeros. La prueba de evaporación de ADR79/01 utilizada en este estudio, consistió de una prueba de pérdida de respiración diurna de 24 horas (en donde la fase diurna representa las emisiones liberadas debido al efecto del cambio en la temperatura ambiente) y una prueba de inmersión de 1 hora. Se observa que la fase diurna domina las emisiones totales por evaporación que generalmente conforman entre 80 y 95% del total.

Todos los vehículos más recientes diseñados conforme a ADR79/01 cumplen con el límite establecido de 2.0 g/prueba con ULP. Los vehículos más recientes, excepto por un caso, emiten también menos de 2.0 g/prueba cuando se someten a prueba con las mezclas de etanol. Estos resultados se registraron para un combustible con una volatilidad (DVPe) para ULP de ~63kPa, lo cual es representativo del típico combustible australiano grado verano.

También se observa que las emisiones de BTEX por evaporación siguen la tendencia en la volatilidad del combustible y coinciden con los resultados para THC. Los resultados para BTEX total en general son más altos para E5 (de forma consistente con el hecho de que E5 presenta la volatilidad más alta), seguido por E10 y siendo la gasolina ULP la más baja.

La emisión por evaporación de alcoholes se vio influida por factores relacionados con los vehículos individuales, que es probable dependan del diseño de los cartuchos de vapor de los vehículos. Los vehículos con cartuchos más pequeños, en comparación con la capacidad del tanque de combustible, tuvieron dificultades para controlar las emisiones por evaporación cuando se sometieron a prueba con las mezclas de etanol, mientras que los vehículos con cartuchos más grandes tuvieron mayor capacidad de adaptarse al incremento de vapor. Los resultados de los vehículos nuevos también parecen verse afectados por emisiones de partes que se sospecha son remanentes del proceso de fabricación, como pegamentos y solventes que pudieran tener alcoholes presentes. Los resultados para los vehículos de mayor antigüedad no presentan tales partes, lo que sugiere que para cuando los vehículos tienen ocho años de antigüedad estos remanentes se han volatilizado.

Pueden encontrarse los resultados detallados de las pruebas en [1].

3.3. Aerosol orgánico secundario

Aunque las partículas suspendidas son emitidas directamente del escape del vehículo, las emisiones de VOC por evaporación y gases de escape también pueden producir partículas suspendidas a través de la producción de aerosoles orgánicos secundarios (SOA). El modelo de la formación de SOA se realizó durante la fase de creación de modelos de calidad del aire del proyecto, con base en los resultados experimentales de la cámara de esmog de CSIRO.

Los experimentos en la cámara de esmog fueron realizados para cuatro pruebas: (1) Emisiones por evaporación de ULP, E5 y E10 tanto para el combustible completamente evaporado como para el vapor equilibrado de cámara (*headspace*); (2) Emisiones de tubo de escape o combustión para ULP, E5 y E10 tanto para la condición de 'arranque en frío' como de 'operación en caliente' (en reposo).

Se mostró que la creación del modelo químico de los datos de la cámara de esmog tanto para el ozono como para SOA, reproducía los datos a un nivel aceptable de exactitud.

Se mostró que el factor de escala requerido para acoplar las predicciones del modelo de la formación de SOA a los datos de la cámara de esmog, se limitaba a un rango relativamente pequeño. Los modelos para ozono y SOA se utilizaron subsiguientemente en la sección de calidad del aire con el factor de escala para el SOA desarrollado a partir de los datos experimentales.

3.4. Impactos sobre el esmog fotoquímico

Los resultados de la cámara de esmog se incorporaron en el modelo cinético químico detallado Carbon Bond 2005 (CB5) [8] para permitir la optimización del componente de SOA de los modelos de calidad del aire. Se utilizó un sistema de creación de modelos de contaminación del aire y clima de tipo tridimensional, conocido como TAPM-CTM [9,10], para investigar los cambios potenciales debidos al uso de combustible mezclado con etanol en la flota australiana, considerando a la flota de vehículos motorizados de Sídney como una muestra representativa. La tarea de creación de modelos para la cuenca atmosférica comprendió dos componentes: (1) evaluación de los cambios potenciales en el ozono; (2) evaluación del cambio relativo en la exposición de la población en relación con el ozono, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y PM_{2.5}.

La Figura 2 muestra de qué forma los escenarios de E5/E10 tienen impacto en el modelo creado para la estadística de valores excedentes de NEPM para el ozono. La Figura 2a y b muestra el modelo de la distribución espacial de la frecuencia diaria de O₃ > 100 ppb de una hora para los escenarios de emisiones ULP_2006 y ULP_2011. Puede observarse que la frecuencia más alta en una celda determinada del modelo (tres días con valores excedentes durante el mes simulado) ocurre al sudoeste de Sídney. También puede observarse que hay una reducción en el número de valores excedentes para el escenario de las emisiones de ULP_2011, en comparación con el escenario para ULP_2006. Sumar las frecuencias excedentes para todas las celdas del modelo de 60 x 70 mostradas en la Figura 2a y b, proporciona un número total de dominio de celdas-días excedentes de 697 para el escenario ULP_2006 y de 410 celdas-días para el escenario de ULP_2011, o bien 41% menos que en el escenario de 2006. El resultado más bajo para ULP_2011 se debe al reducido nivel de las emisiones de la flota de los vehículos del 2011.

La Figura 2c y d muestra de qué forma cambia el número acumulativo de días con valores excedentes para los escenarios de las emisiones de E5/E10. Puede observarse que el número de celdas-días se incrementa en alrededor de 1.4% para los escenarios de 50E10, en 2.8–3.0% para los escenarios de 100E10 y en 3.0–4.6% para los escenarios de 100E5.

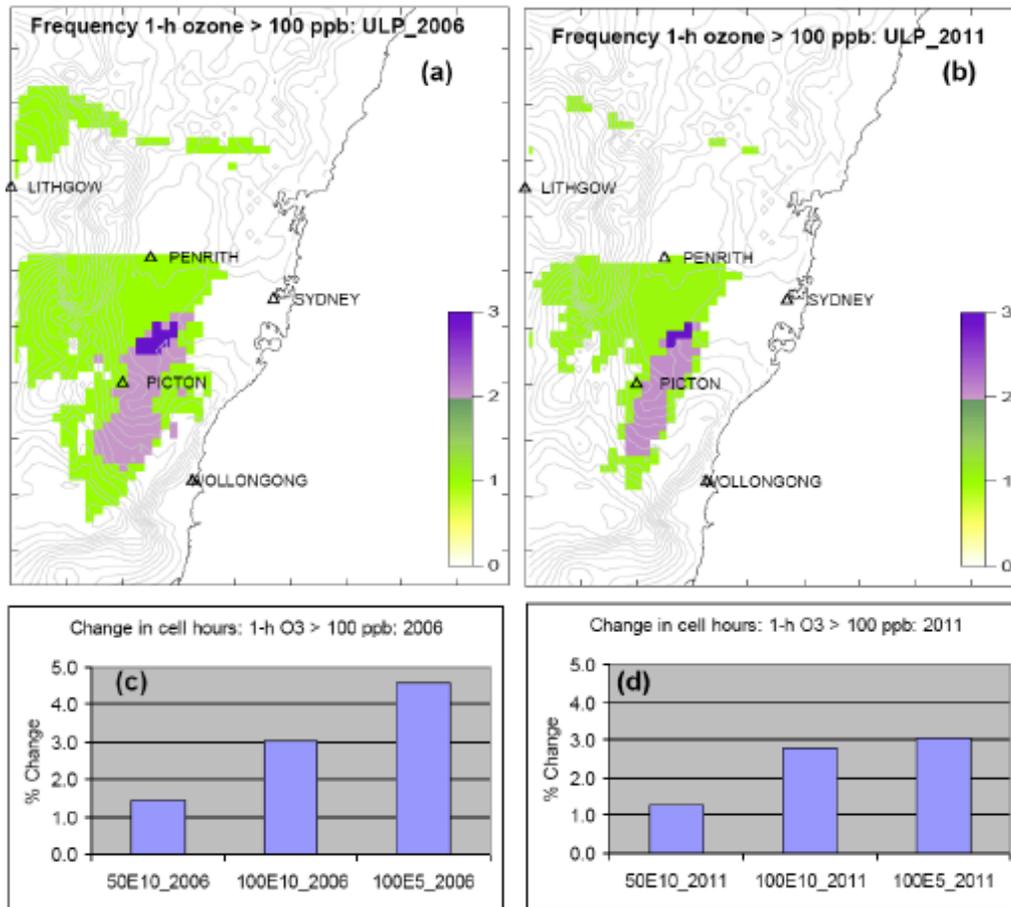
Se utilizaron los campos de concentración modelados de los contaminantes parámetro (CO, NO₂, aerosoles orgánicos secundarios –incluyendo PM, O₃), para generar la estadística de la exposición de la población que se usó entonces para estimar el cambio en los impactos en la salud conforme a la siguiente metodología de cuatro pasos:

1. Calcular los campos de concentración de contaminante promedio de 1 hora (el tiempo promedio de origen de TAPM-CTM) para O₃, NO₂, CO y PM_{2.5} para un escenario de E5/E10 y para el correspondiente escenario de ULP en la línea basal.
2. Generar los campos de concentración promedio de múltiples horas que resulten apropiados para la evaluación de la salud.
3. Utilizar los umbrales de concentración prescritos y una base de datos poblacionales para Sídney; calcular la métrica relativa del impacto en la salud.
4. Utilizar la métrica generada en el paso 3 para extrapolar una evaluación existente del impacto en la salud revisada por colegas para Sídney a cada uno de los contaminantes parámetro.

Se proporcionan detalles adicionales de las fórmulas en [1]. Los resultados obtenidos de este proceso se muestran en la Figura 3.

Se observaron pequeños incrementos en las concentraciones máximas de ozono para todos los escenarios de emisiones de E5/E10. Esto implica que la reducción observada en las emisiones de masa de escape de VOC y CO, no fue suficiente para cancelar los incrementos en las emisiones por evaporación de masa de VOC asociadas con la más alta presión del vapor de los combustibles mezclados, en comparación con ULP. La típica escala de incremento en las concentraciones máximas de ozono de 1 hora (generalmente del orden de 100 ppb) fue de 1 a 2 ppb para E10 y de 2 a 4 ppb para E5.

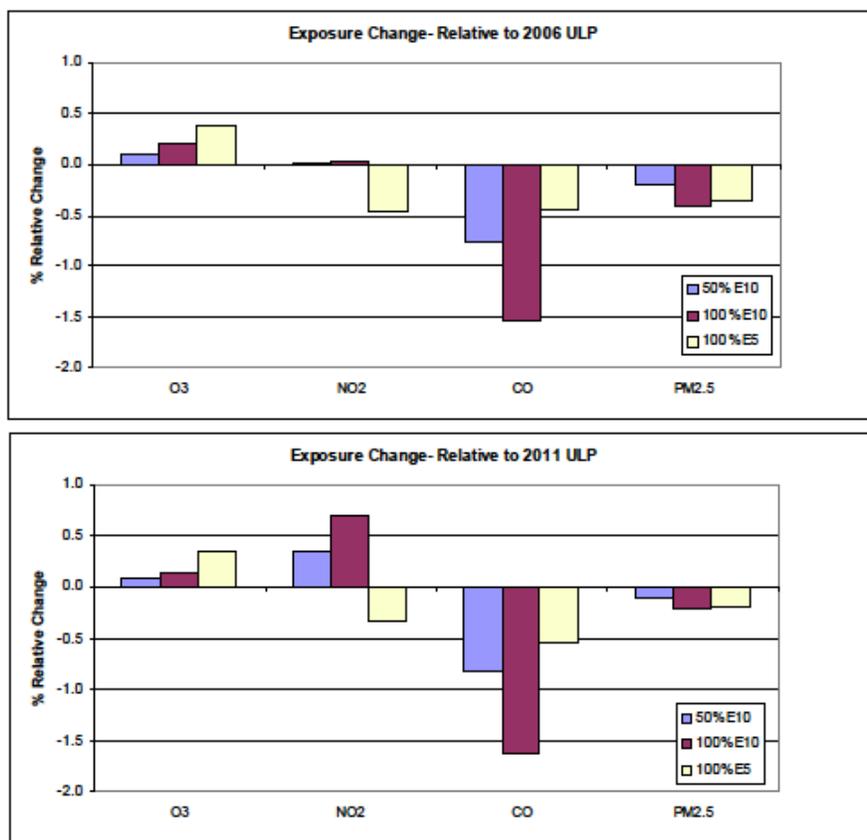
Figura 2. Impactos de los escenarios de etanol modelados en la estadística de ozono de 1 hora para Sídney (a) Número diario de valores excedentes para concentración de ozono de 1 hora >100 ppb para la simulación de un mes con el uso del inventario de vehículos motorizados ULP_2006; (b) Igual que para (a), pero usando el inventario de ULP_2011; (c) Cambio porcentual relativo en el número de celdas-días excedentes con el uso de inventarios de etanol de 2006; (d) Igual que para (c), pero usando los inventarios de 2011.



Frequency 1-h ozone: Frecuencia de ozono de 1 hora
 Change in cell hours: Cambio en las horas de celda
 % Change: Cambio porcentual

En todos los casos, la magnitud del cambio modelado de la exposición de la población, fue del 2% como máximo. Se observaron incrementos en la exposición de la población para el ozono para todos los escenarios de E5/E10 y para el dióxido de nitrógeno para los escenarios de E10. Se predijo una reducción en la exposición a PM_{2.5} para todos los escenarios y para el dióxido de nitrógeno para el escenario de E5.

Figura 3. Cambio relativo modelado en la exposición de la población para los escenarios de las emisiones de 2006 (arriba) y 2011(abajo).



Exposure Change – Relative to 2006 ULP: Cambio en Exposición – Relativo a ULP 2006

% Relative Change: % Cambio Relativo

Exposure Change – Relative to 2011 ULP: Cambio en Exposición – Relativo a ULP 2011

% Relative Change: % Cambio Relativo

4. Base para calcular el impacto en la salud

La forma exacta en la que se calculan los impactos en la salud difiere para los distintos contaminantes. En general, los cálculos utilizaron un método de "incremento a partir de la línea basal" de tres pasos. Los tres pasos son los siguientes:

1. Determinar el impacto en la salud en la línea basal asociado con el contaminante particular que se está examinando. Si se encuentra disponible en una Publicación del Gobierno Australiano oficial reciente, entonces se utilizarán esos valores de línea basal. En caso contrario, entonces deben calcularse los valores de línea basal.

2. (a) En el caso de los tóxicos del aire, determinar el incremento o decremento a las emisiones en línea basal como resultado del uso de E5 y como resultado del uso de E10 con base en los resultados experimentales obtenidos a partir de este estudio; (b) en el caso de las partículas suspendidas y contaminantes parámetro, determinar el incremento o decremento para la exposición de línea basal (que se calcula como concentración en la cuenca atmosférica ponderada para la población) como resultado del uso de E5 y como resultado del uso de E10 con base en los resultados de creación de modelos obtenidos a partir de este estudio.

3. Habiendo determinado el incremento o decremento para las emisiones de línea basal o para la exposición en línea basal, este incremento (o decremento) es aplicado al impacto en la salud en la línea basal para determinar el cambio en el impacto en la salud a partir del uso de E5 y/ó E10.

5. Valor estadístico de la vida

Habiendo determinado el impacto en la salud, se cuantifica asignando valores en dólares a la morbilidad y mortalidad. El costo cuantificado de la mortalidad se denomina el valor estadístico de la vida (VOSL, por sus siglas en inglés). Amoako et al. [11,12] supusieron que el valor estadístico de la vida era de \$1.3 millones, mientras que las Medidas Nacionales de Protección Ambiental (NEPM, por sus siglas en inglés) de las normas de la Calidad del Aire Ambiental [13] supusieron un valor de \$7 millones, valor que también ha sido recomendado en un estudio reciente [14]. Se utilizó este último valor de \$7 millones.

6. Resultados del impacto en la salud

El hallazgo general es que existe un beneficio para la salud de la población de Sídney derivado del desplazamiento de la gasolina ULP a las mezclas de etanol en los vehículos de encendido por chispa. Con base en la conformación promedio de la flota en 2006, este valor es de aproximadamente \$16 millones para una adopción del 50% (por parte de los vehículos compatibles con etanol) de E10 y de \$17 millones al año para una adopción del 100% de E10 en 2011. La principal razón para la disminución del incremento en el beneficio en el 2011, en comparación con el 2006, son las ahora bajas emisiones de partículas de la flota de vehículos que usan gasolina, las cuales descienden aún más para el 2011 a medida que se introducen en la flota los vehículos más recientes que producen menores emisiones. Se estima que los ahorros potenciales de los costos de salud para Australia Urbana (Sídney, Melbourne, Brisbane y Perth) son de \$39 millones para una adopción del 50% (por parte de los vehículos compatibles con etanol) de E10 en 2006 y de \$42 millones al año para una adopción del 100% de E10 en 2011. Lo que más contribuyó a los beneficios a la salud fue la reducción de las emisiones de partículas con el uso de E5 ó E10.

Los impactos cuantificados en la salud, al igual que en la Tabla 1, se basan en un mes de modelado en la cuenta atmosférica de Sídney (febrero), extrapolado para representar un año completo, así como en un modelado de un año completo para 2006 para el escenario de E5 al 100%, que supone que todos los automóviles que sean capaces de usar E5 lo usarán.

6.1. Partículas suspendidas (PM)

6.1.1. Línea basal

La Declaración de Impacto para la Variación de $PM_{2.5}$ [13] establece los valores de línea basal para los impactos en la salud en Australia con base en Sídney, Melbourne, Brisbane y Perth. Los impactos en la salud en términos del número de personas afectadas cada año, se proporcionan en la Tabla 5-4 del documento de NEPM.

Los datos de ABS dan una población para Sídney en el 2001 de 4,128,272 y de 4,284,379 en el 2006. La población de Sídney, Melbourne, Brisbane y Perth (que denominamos Australia Urbana) era de 10,220,931 personas en 2001, mientras que en 2006 era de 11,368,662 personas. Del uso de estos valores se derivan los valores en la Tabla 2 para Sídney y para Australia Urbana, a los que se han añadido los intervalos de confianza del 95% de Burgers y Walsh [15].

NEPC [13] contiene los costos de salud asociados con hospitalizaciones por asma (\$8,875), enfermedad cardiovascular (\$11,709) y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (COPD, por sus siglas en inglés, \$9,610) en dólares del 2001. Ajustado a dólares australianos (A\$) de 2007 usando valores de inflación del Índice de Precios al Consumidor (CPI, por sus siglas en inglés), da un resultado de \$10,447 para el asma, \$13,783 para la enfermedad cardiovascular y \$11,312 para COPD.

Tabla 1. Cambios totales cuantificados anuales en el impacto en la salud del etanol sobre ULP en relación con la mortalidad y morbilidad por PM_{2.5} (2007 millones de dólares australianos, intervalo de confianza (CI) del 90%) con base en simulaciones mensuales y anuales.

Ubicación	Resultados 2006 (basados en febrero)			Cálculo Anual 2006	Resultados 2011 (basados en febrero)		
	50% E10	100% E10	100% E5		100% E5	50% E10	100% E10
Sídney	-15.7 (-5.5 a -32.5)	-31.0 (-10.8 a -64.1)	-25.2 (-8.7 a -52.1)	-22.7 (-5.4 a -50.6)	-7.85 (-2.7 a -16.2)	-16.8 (-5.8 a -34.7)	-15.3 (-5.3 a -31.6)
Australia Urbana	-38.5 (-13.3 a -78.8)	-75.8 (-25.9 a -155)	-61.6 (-21.4 a -127)	-55 (-13 a -122)	-19.5 (-6.7 a -40.0)	-41.6 (-14.3 a -85.5)	-37.9 (-13.1 a -77.8)

* Sídney, Melbourne, Brisbane y Perth.

Tabla 2. Efectos sobre la salud (número de personas afectadas) para 2006 atribuibles a los niveles de PM_{2.5} en Australia.

Área	Criterio de valoración de salud a corto plazo						Criterio de valoración de salud a largo plazo		
	Mortalidad			Hospitalizaciones			Mortalidad		
	Cualquier causa	Respiratoria	CV	Asma	Cardio-vascular	COPD	Cualquier causa	Cáncer pulmón	COPD
Sídney	286	85	57	164	257	61	729	92	550
CI 95% Bajo	163	52	8	64	152	13	250	28	191
CI 95% Alto	406	119	105	262	361	113	1291	142	932
Australia Urbana*	701	214	140	333	574	103	1770	214	1205
CI 95% Bajo	402	132	20	130	345	21	614	67	424
CI 95% Alto	1001	299	261	536	816	196	3178	337	2071

* Sídney, Melbourne, Brisbane y Perth.

Debe hacerse notar que el valor convenido para la línea basal en Australia para las partículas suspendidas se basa en las concentraciones de PM_{2.5}. Esto significa que los efectos cuantificados en la salud se basan en los datos de PM_{2.5} recolectados durante los experimentos en vehículos documentados en CSIRO y Orbital Engine Corporation [1].

6.1.2. Incremento

Los valores anteriores de línea basal y los resultados del modelado de la exposición de la población, se aplicaron a cuatro escenarios distintos para Sídney para 2006 y 2011. Los cuatro escenarios son ULP (100% de los vehículos que operan con gasolina ULP, lo cual se toma como la línea basal), 50% para E10, 100% para E10 y 100% para E5 (nótese que los porcentajes indican la proporción de la flota lista para el etanol que se supone emplea mezclas de etanol, no el porcentaje de la flota total; a saber, 60% en 2006 y 95% en 2011).

Los periodos de tiempo son: (1) las emisiones de los vehículos en el 2006, con base en los registros de vehículos registrados en Sídney; y (2) las emisiones de los vehículos para el 2011, con base en las proyecciones para la adopción en los vehículos más recientes con emisiones reducidas (debido a una mejor tecnología y adherencia a las nuevas normas de emisiones australianas) y el correspondiente retiro de los vehículos de mayor antigüedad. Los costos del 2011 también se han incrementado ligeramente para dar cuenta del cambio poblacional esperado entre 2006 y 2011.

Los valores en la Tabla 1 muestran las diferencias anuales en los costos de salud para los escenarios y periodos de tiempo, en comparación con el 100% de los vehículos de gasolina que usan gasolina ULP limpia (basado en el mes de febrero) y para un cálculo a partir del modelo para el año completo. Los valores negativos indican un beneficio, es decir, ahorros en los costos de salud (en millones de dólares australianos de 2007) como resultado de la reducción de las emisiones de $PM_{2.5}$. Estos valores han sido extrapolados para Australia Urbana con base en la proporción de la población. Los valores entre paréntesis son los intervalos de confianza del 90% utilizados por NEPC [13] (en lugar de los intervalos de confianza del 95% utilizados por Burgers y Walsh [15]).

Más del 99% de los costos de salud por $PM_{2.5}$ se deben a reducciones en las mortalidades a corto y largo plazo. Las mortalidades a corto plazo se derivan de enfermedades respiratorias, mientras que la mortalidad a largo plazo se deriva de cánceres. Los costos de morbilidad debidos a asma, enfermedad cardiovascular y COPD, constituyen sólo alrededor del 0.1% de los costos generales de salud.

Aunque hay más vehículos que operan con gasolina y una predicción de una mayor población para Sídney y Australia Urbana en el 2011, en la mayoría de los casos, el diferencial del impacto cuantificado en la salud entre los vehículos que usan ULP y etanol como combustible, desciende de 2006 a 2011. Esto se debe a que los vehículos de gasolina modernos, debido a las cada vez más estrictas normas aplicables a las emisiones, producen menos emisiones medibles que sus contrapartes más antiguos y constituirán una proporción más alta de la flota en el futuro— de ahí que los efectos benéficos de las reducciones en las partículas suspendidas con el uso de etanol se tornan menos significativos a medida que la flota produce menos emisiones en general.

Se realizaron cálculos similares para los demás criterios parámetro y para los tóxicos del aire. Dado que los impactos en la salud se encuentran dominados por las partículas suspendidas, éstas no se reportan este artículo, aunque se encuentran disponibles en línea [1].

7. Discusión

La Tabla 3 proporciona una tabla de resumen indicativa de los incrementos totales de los costos de salud en línea basal para Australia Urbana, con base en la suma de todos los contaminantes parámetro y tóxicos del aire mencionados previamente, tomando como base en el mes de febrero, así como el año completo en promedio. Los costos de salud debidos a la mortalidad por partículas suspendidas dominan los costos de salud en la línea basal y representan cincuenta veces más los impactos cuantificados en la salud por tóxicos del aire, el siguiente mayor beneficio para la salud. Por lo tanto, se piensa que podrían realizarse costos de salud indicativos para otras mezclas de etanol en ULP en el futuro midiendo las emisiones comparativas de $PM_{2.5}$.

Todos los totales en la Tabla 3 son negativos, lo cual indica ahorros, aunque el componente de ozono del total indica falta de beneficios. Hubo un total de \$20 millones para una adopción del 50% de E10 en el 2011, en dólares australianos de 2007, para la Australia Urbana. Esto contrasta con los resultados de Jacobson [16], quien encontró que E85 podía provocar más daño que ULP debido a que representa un riesgo similar de cáncer, pero un mayor riesgo a la salud por ozono y un incremento de las emisiones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} . Beer y Grant [17] supusieron también que las emisiones de partículas suspendidas no se reducirían como resultado del uso de etanol en los vehículos, aunque los resultados de prueba reportados en este artículo y, con mayor detalle, en CSIRO y Orbital Engine Corporation [1], indican que las emisiones de partículas suspendidas se reducen cuando hoy en día se emplean mezclas de etanol en la flota actual de vehículos australianas.

Debido a la introducción de vehículos más recientes cuyas emisiones se espera sean menores, se espera que los ahorros resultantes del uso del 100% de una mezcla de etanol desciendan en el futuro. Se espera que el uso de una mezcla de etanol en 2011 produzca valores benéficos medios en los costos de salud, con ahorros de entre \$20 millones y \$42 millones para Australia Urbana, permitiendo un incremento general proyectado en la población y número de vehículos.

Los valores en la Tabla 3 indican que los beneficios cuantificados para la salud en el 2011 son menores a aquellos en el 2006. La razón de que haya menores beneficios para la salud en el 2011 es que los vehículos más recientes emiten menos PM, de manera que disminuye el beneficio relativo de la reducción de PM.

Tabla 3. Tabla de resumen indicativa de incrementos en el costo anual de salud en línea basal (millones \$ de 2007, Intervalos de Confianza del 90%) para Australia Urbana*.

Australia Urbana	Resultados 2006 (basados en febrero)			Cálculo Anual 2006	Resultados 2011 (basados en febrero)		
	50% E10	100% E10	100% E5		100% E5	50% E10	100% E10
Mortalidad PM	-38.466	-75.853	-61.663	-55.594	-19.497	-41.600	-37.899
Morbilidad PM	-0.0305	-0.0602	-0.0490	-0.0441	-0.0155	-0.0330	-0.0301
Ozono	0.1412	0.2985	0.5798	0.3874	0.1309	0.2400	0.5623
Dióxido de Nitrógeno	0.0004	0.0008	-0.0189	-0.0182	0.0145	0.0289	-0.0139
Tóxicos del aire	-0.6239	-1.2176	-0.2838	-0.2838	-0.5067	-1.011	0.0320
Total	-38.979	-76.831	-61.435	-55.553	-19.874	-42.375	-37.349
CI 90%	-13 a -81	-27 a -159	-21 a -127	-13 a -124	-7 a -41	-15 a -88	-13 a -78

* Sídney, Melbourne, Brisbane y Perth.

El método de incremento de línea basal se basa en dos supuestos clave. El primer supuesto es que las variaciones en las cargas y concentraciones son suficientemente pequeñas como para que resulte apropiado linealizar las respuestas. Se espera que esto sea válido porque el cambio de gasolina ordinaria (que es en sí una mezcla variable de muchos constituyentes distintos) a E10 consiste en alterar ligeramente la mezcla de gasolina. El segundo supuesto es que la tasa de respuesta es la misma que la tasa de incremento. Esto es susceptible de ser válido para los tóxicos del aire, PM, ozono y NO₂, para los que se considera que no hay concentración umbral. Es menos probable que sea el caso para CO, que cuenta con un umbral para los efectos en la salud pero en donde, en última instancia, todas las concentraciones de CO medidas como parte de este estudio y modeladas para escenarios futuros indican que las concentraciones de CO se encontrarán por debajo de tal umbral, de modo que no habrá impactos en la salud derivados de CO ni para ULP ni para las mezclas de etanol.

El procedimiento adoptado en este reporte para cuantificar los efectos en la salud del uso de etanol en la gasolina, proporciona una metodología manejable que utiliza valores convenidos de línea basal, así como variaciones medidas a partir de las líneas basales. Es inevitable que avances científicos adicionales conduzcan a perfeccionamientos de la metodología. En particular, ahora se presta una atención considerable al papel de PM₁ y las distribuciones del número de partículas en los efectos en la salud. Hasta que tales estudios produzcan relaciones convenidas de dosis-respuesta a partir de las cuales puedan calcularse los

efectos en la salud en la línea basal, no podemos utilizar los datos en cálculos cuantificados de efectos sobre la salud.

En relación con las diferencias en los costos de salud, el 97% de éstas se deben a diferencias en la mortalidad que se derivan de las partículas suspendidas, en donde los costos de salud cuantificados se basan en el valor adscrito a VOSL. El valor general del beneficio del uso de las mezclas de etanol sobre ULP, variará si los cálculos se basan en un valor de VOSL que es significativamente distinto al valor de A\$7 millones que se utiliza en este reporte. Esta cifra de A\$ 7 millones se basa en su uso por parte de NEPM de las normas de la Calidad del Aire Ambiental y la hemos confirmado mediante una revisión de la literatura relacionada y un nuevo análisis de los datos.

La conclusión general, es decir que las mezclas de etanol tienen una ligera ventaja para la salud sobre la gasolina ULP limpia, es cierta para valores de VOSL por arriba de \$26,000. Tal valor es mucho menor que el valor de VOSL más bajo recomendado en los estudios [18] que han analizado el tema, en donde el valor de VOSL se fija en US\$ 700,000 (y el más alto se fija en \$15.9 millones).

8. Conclusiones

El presente estudio estima que existe un beneficio para la salud de la población de Sídney y Australia Urbana (considerada como Sídney, Melbourne, Brisbane y Perth) derivado de un desplazamiento de la gasolina ULP limpia a las mezclas de etanol en vehículos de encendido por chispa. Con base en la conformación promedio de la flota en 2006, este valor para Sídney es de aproximadamente \$16 millones para una adopción del 50% para E10 (con base en los resultados para febrero; para un cálculo anual promedio del modelo, el valor para una adopción del 100% de E5 es de aproximadamente \$23 millones en 2006). Para Australia Urbana, los valores del 2006 son de aproximadamente \$39 millones para un uso de 50% de E10 (con base en los resultados para febrero; para un cálculo anual promedio del modelo, el valor para una adopción del 100% de E5 es de aproximadamente \$56 millones en 2006).

El beneficio general cuantificado para la salud del uso de mezclas de etanol se encuentra dominado de forma abrumadora por las reducciones en las partículas suspendidas.

Aunque el análisis de sensibilidad revela que estos valores pueden variar significativamente, la conclusión general con respecto al beneficio para la salud es sólida.

Los beneficios se reducen con el tiempo a medida que vehículos más recientes ingresan a la flota. Para 2011, se estima que los beneficios cuantificados para la salud para Sídney serán de aproximadamente \$8 millones para una adopción del 50% de E10, de \$15 millones para una adopción del 100% de E5 y de \$17 millones para una adopción del 100% de E10. Para Australia Urbana, los valores correspondientes son de aproximadamente \$20 millones para una adopción del 50% de E10, de \$37 millones para una adopción del 100% de E5 y de \$42 millones para una adopción del 100% de E10.

Agradecimientos

Los autores de este artículo agradecen el apoyo del Gobierno Australiano (Departamento Australiano del Medio Ambiente, el Agua, el Patrimonio y las Artes).

Bibliografía

1. CSIRO and Orbital Engine Corporation. *Evaluating the Health Impacts of Ethanol Blend Petrol*; Technical Report for the Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts: Canberra, Australia, 2008. Available online: <http://www.environment.gov.au/atmosphere/fuelquality/publications/ethanol-health-impacts.html> (accessed on 18 February 2011).

- Azzi, M.; White, S.J.; Angove, D.E.; Jamie, I.M.; Kaduwela, A. 2010 Evaluation of the SAPRC-07 mechanism against CSIRO smog chamber data. *Atmos. Environ.* **2010**, *44*, 1707–1713.
- White, S.J.; Azzi, M.; Angove, D.E.; Jamie I.M. Modelling the photooxidation of ULP, E5 and E10 in the CSIRO smog chamber. *Atmos. Environ.* **2010**, *44*, 5375–5382.
- Department of the Environment and Heritage. *NISE 2—Contract 2 Drive Cycle and Short Test Development*; Technical Report for Department of the Environment and Heritage: Orbital Australia, 2005. Available online: <http://www.environment.gov.au/atmosphere/transport/nise2.html> (accessed on 18 February 2011).
- Graham, L.A.; Belisle, S.L.; Baas, C.-L. Emissions from light duty gasoline vehicles operating on low blend ethanol gasoline and E85. *Atmos. Environ.* **2008**, *42*, 4498–4516.
- Niven, R.K. Ethanol in gasoline: Environmental impacts and sustainability: Review article. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2005**, *9*, 535–555.
- Pang, X.; Mu, Y.; Yuan, J.; He, H. Carbonyls emission from ethanol-blended gasoline and biodiesel-ethanol-diesel used in engines. *Atmos. Environ.* **2008**, *42*, 1349–1358.
- Yarwood, G.; Rao, S.; Yocke, M.; Whitten, G. *Updates to the Carbon Bond chemical mechanism: CB5*; Technical Report for U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 2005.
- Cope, M.E.; Hess, G.D.; Lee, S.H.; Tory, K.; Azzi, M.; Carras, J.N.; Lilley, W.; Manins, P.C.; Nelson, P.; Ng, Y.L.; Puri, K.; Wong, N.; Walsh, S.; Young, M. The Australian Air Quality Forecasting System. Part I: Project description and early outcomes. *J. Appl. Meteorol.* **2004**, *43*, 649–662.
- Hurley, P.J. *The Air Pollution Model (TAPM)*, version 3; Part 1. Technical description; CSIRO Atmospheric Research: Victoria, Australia, 2005.
- Amoako, J.; Ockwell, A.; Lodh, M. The economic consequences of the health effects of transport emissions in Australian capital cities. In *Proceedings of the 26th Australasian Transport Research Forum*, Wellington, New Zealand, 1–3 October 2003. Available online: [http://www.patrec.org/web_docs/atrf/papers/2003/Amoako,%20Ockwell%20&%20Lodh%20\(2003\).pdf](http://www.patrec.org/web_docs/atrf/papers/2003/Amoako,%20Ockwell%20&%20Lodh%20(2003).pdf) (accessed on 18 February 2011).
- Amoako, J.; Lodh, M.; Risbey, T. *Health Impacts of Transport Emissions in Australia: Economic Costs*; Bureau of Transport and Regional Economics: Canberra, Australia, 2005. Available online: <http://www.btre.gov.au/publications/94/Files/wp63.pdf> (accessed on 18 February 2011).
- NEPC. *Impact Statement for PM2.5 Variation NEPM (National Environment Protection Measure)*; NEPC: Adelaide, Australia, 2002.
- Access Economics Pty Limited. *The Health of Nations: The Value of a Statistical Life*; Technical Report for Office of the Australian Safety and Compensation Council, Access Economics Pty. Ltd.: Canberra, Australia, 2008. Available online: <http://www.accesseconomics.com.au/publicationsreports/showreport.php?id=156&searchfor=2008&searchby=year> (accessed on 18 February 2011)
- Burgers, M.; Walsh, S. *Exposure Assessment and Risk Characterisation for the Development of a PM2.5 Standard*; Technical Report for the National Environmental Protection Council Service Corporation, Environment Protection Authority of Victoria: Melbourne, Australia, 2002.
- Jacobson, M.Z. Effects of ethanol (E85) versus gasoline vehicles on cancer and mortality in the United States. *Environ. Sci. Technol.* **2007**, *41*, 4150–4157.

17. Beer, T.; Grant, T. Life-cycle analysis of emissions from fuel ethanol and blends in Australian heavy and light vehicles. *J. Cleaner Prod.* **2007**, *15*, 833–837.
18. Centre for International Economics. *Health Costs of Transport Emissions in Sydney—Consultancy 2: Economic Valuation Methodologies*; Technical Report for NSW Environment Protection Authority: Sydney, Australia, 2001.

© 2011 por los autores; licencia MDPI, Basilea, Suiza. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>).