

Quando hablamos de huella hídrica de los vehículos, ¿es sencillo entender de lo que hablamos?

La huella hídrica se refiere a la medida total del uso directo e indirecto de agua asociado con la producción de bienes o servicios por parte de un individuo, comunidad o empresa. Representa la cantidad total de agua dulce utilizada en todo el ciclo de vida de un producto, desde la producción de materias primas hasta su consumo final y la gestión de los residuos generados en todo ese ciclo.

No obstante, no es una métrica fácil de interpretar, y a veces ni siquiera es fácil de calcular.

En primer lugar, conviene diferenciar entre huella de agua y huella hídrica. La huella de agua “*es la métrica o métricas con las que se cuantifican los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua y está basada en el análisis de ciclo de vida*”. Está normalizada por la ISO 14046 y requiere de una recopilación y evaluación de las entradas, salidas y los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua utilizada o afectada por un producto, proceso u organización. Esto implica la realización de un inventario de las entradas y salidas del agua en el sistema/producto/organización, la interpretación de sus resultados y la evaluación de los impactos provocados. Por el contrario, la huella hídrica es un indicador que cuantifica en términos volumétricos la cantidad de agua dulce consumida en el ciclo de vida de un producto, servicio o proceso. Para su estimación, existen distintas métricas como las de Hoekstra *et al.* (2011) o Kounina *et al.* (2013).

En segundo lugar, al hablar de huella hídrica hay que tener presente la diferencia entre el uso del agua y el consumo del agua. Así, la métrica puede analizarse bajo estos dos enfoques: el de consumo y el de uso de agua. El primero hace referencia al agua dulce que es totalmente consumida para realizar la actividad o proceso, mientras que el segundo se refiere al agua dulce que es utilizada, pero que, tras su uso, se devuelve nuevamente al ciclo hidrológico.

Por último, cabe reseñar también que, en los últimos años, diversos métodos han incluido en el cómputo de la huella hídrica el concepto de “agua disponible”. Así, por ejemplo, en el método *Available Water REmaining* (AWARE) se utiliza un indicador que representa el agua disponible relativa restante por área en una cuenca, después de que se haya satisfecho la demanda de los seres humanos y los ecosistemas acuáticos. Así, se evalúa el potencial de privación de agua, ya sea para los seres humanos o los ecosistemas, partiendo del supuesto de que cuanto menos agua quede disponible por área, más probable es que se prive a otro usuario. Por tanto, tiene un fuerte condicionante geográfico. El método AWARE es el propuesto por la metodología [Product Environmental Footprint](#) para el cálculo de la categoría de impacto de “consumo del recurso hídrico”; esta metodología de evaluación de impacto del ciclo de vida es la recomendada por la Comisión Europea (EC, 2021) a través de la Plataforma Europea de Análisis de Ciclo de Vida ([EPLCA](#)) en los estudios de análisis de ciclo de vida.

Al estudiarse la huella hídrica de los vehículos turismo, parece más adecuado centrarse en un enfoque de consumo de agua, el cual tiene lugar tanto en el [ciclo de vida de la fuente energética](#) (producción y consumo de la misma) como en el [ciclo de vida del vehículo](#) (fabricación, mantenimiento y gestión al final de la vida útil del propio vehículo y de cada uno de sus componentes). No obstante, y a diferencia de lo que ocurre con otros impactos ambientales, como por ejemplo la huella de carbono, dentro del ciclo de vida de la fuente energética, en el caso de la huella hídrica o consumo del recurso hídrico, este sólo se debe a la etapa de producción de la fuente energética (“*Well to Tank*”) y no a la fase de uso de esta (“*Tank to Wheel*”).

En base a una revisión bibliográfica llevada a cabo, se han seleccionado finalmente un conjunto de 16 artículos científicos de reciente publicación, en los que se ha observado una importante disparidad en los resultados obtenidos por los distintos autores. La heterogeneidad en los resultados se debe en gran medida a la incertidumbre en los datos de partida y en las fuentes de información empleadas, a la fuerte dependencia

geográfica y temporal de los resultados (en los aspectos relacionados con la energía, por ejemplo) o al uso de distintas métricas. A pesar de estas limitaciones, algunas evidencias se han puesto de manifiesto.

En los vehículos de combustión interna (ICEV, en su acrónimo en inglés), el 70-80% del consumo del recurso hídrico procede de la producción de la fuente energética, representando el ciclo de vida del vehículo el 20-30% restante. En el caso de los vehículos eléctricos de batería (BEV, por su acrónimo en inglés), esa distribución no cambia sustancialmente, siendo la producción de la fuente energética (electricidad), también, la principal contribución al consumo del recurso hídrico.

La figura 1 resume los resultados obtenidos del estudio bibliográfico comparativo en términos relativos y en comparación con un vehículo ICEV.

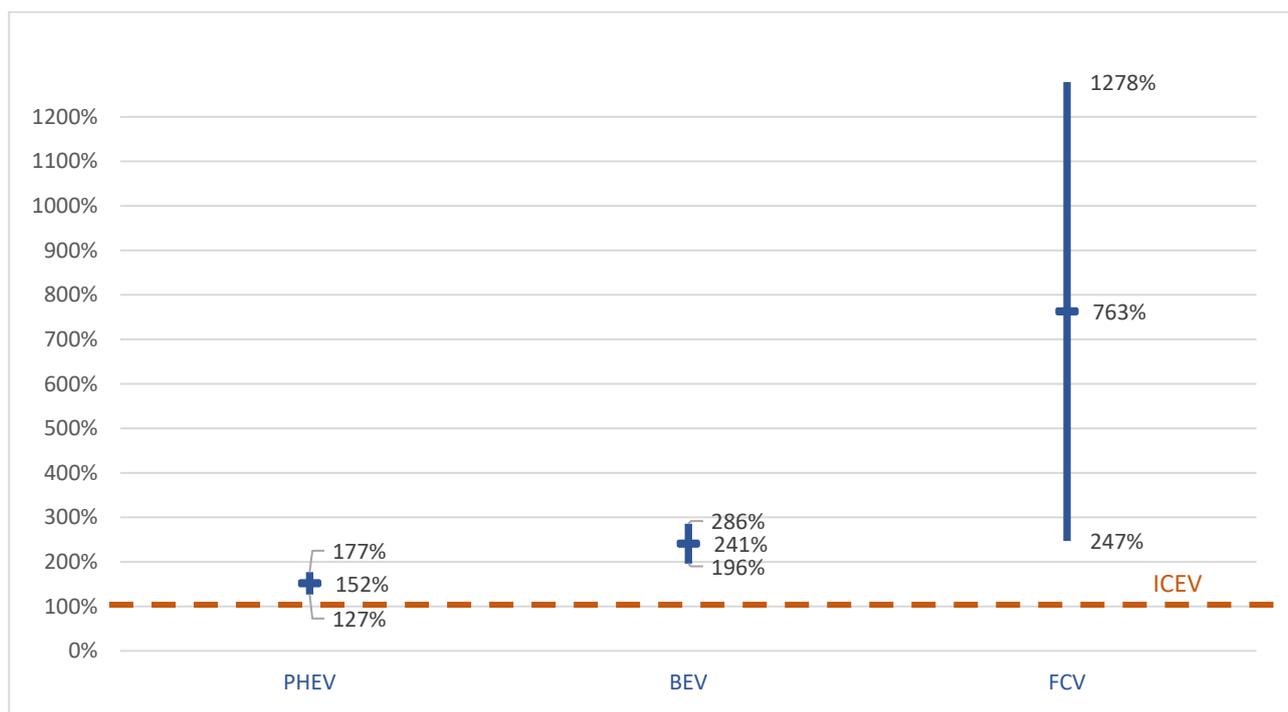
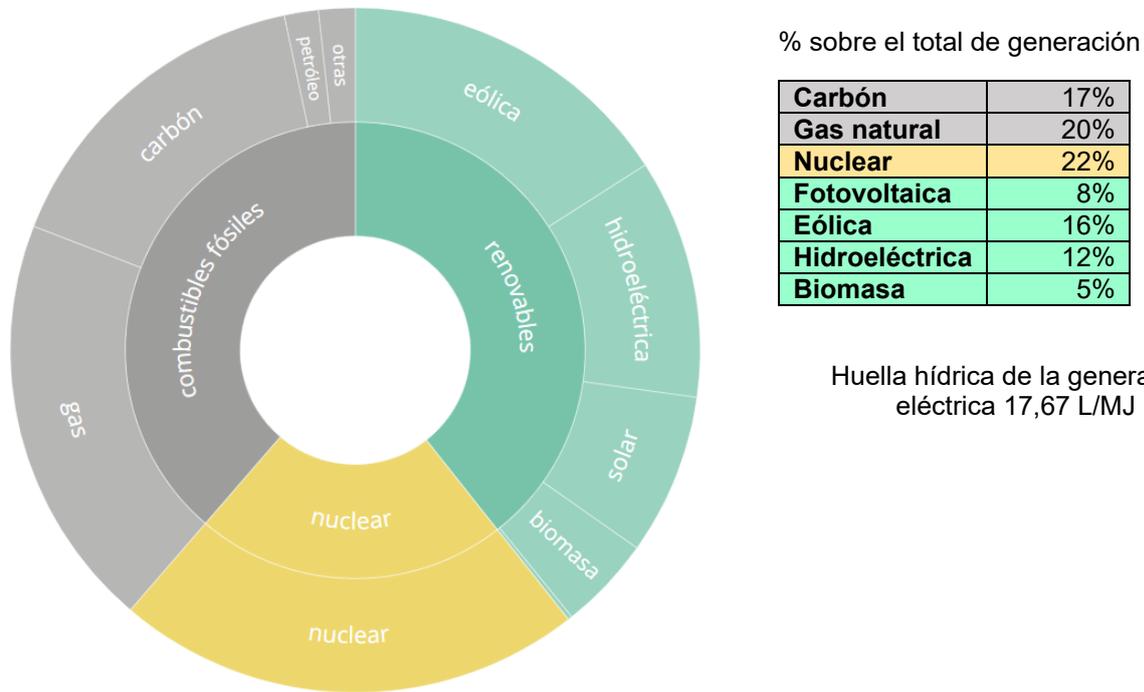


Figura 1. Resultados de la huella hídrica de distintas tecnologías de vehículos, en comparación con un vehículo de combustión interna (ICEV). PHEV=vehículo híbrido enchufable. BEV=vehículo eléctrico de batería. FCEV=vehículo eléctrico de célula de combustible/hidrógeno.

Vehículos eléctricos e híbridos enchufables

De acuerdo con los resultados recopilados, el vehículo PHEV podría incrementar la huella hídrica entre un 27 y 77% respecto al vehículo ICEV. Este incremento en el consumo de agua está directamente relacionado con el cómo se genere la energía eléctrica con la que se recargan las baterías de estos coches. Así, por ejemplo, la generación vía hidráulica o empleando la biomasa como fuente energética primaria, tiene un mayor impacto sobre el uso del recurso hídrico que otras formas de generación eléctrica. Por esa misma razón, el vehículo eléctrico (BEV) podría incrementar la huella hídrica entre un 96 y 186% respecto al vehículo de combustión interna.

Tomando datos bibliográficos sobre la huella hídrica de las distintas fuentes de generación de energía eléctrica (Chang *et al.*, 2015), el mix de generación eléctrica europeo en el año 2022 (figura 2) y el consumo medio de un vehículo eléctrico medio vendido en Europa en ese mismo año, se puede determinar que la contribución de la fase de producción de la fuente energética (“*Well to Tank*”) del vehículo eléctrico, bajo estas condiciones, al total de la huella hídrica asciende al 90%.



Huella hídrica de la generación eléctrica 17,67 L/MJ

Figura 2. Generación neta de electricidad en la Unión Europea por tipo de combustible (2022). Fuente: Consejo Europeo, 2022

Vehículo de hidrógeno

Para el vehículo de pila de combustible que funciona con hidrógeno, el consumo de recurso hídrico puede llegar a incrementarse un 147-1.178%, dependiendo del proceso de producción del hidrógeno y de la materia prima empleada para tal fin.

Así, por ejemplo, de acuerdo con los resultados de Iannuzzi *et al.* (2021), la producción de hidrógeno a partir de la gasificación de biomasa prácticamente quintuplica la huella hídrica del hidrógeno procedente del gas natural y de la electrólisis del agua. Es este último caso, siempre dependerá de la fuente energética empleada para generar la energía eléctrica. Trasladándolo a términos comparativos con el vehículo de combustión interna, el vehículo de pila de combustible con hidrógeno procedente de la gasificación de la biomasa incrementaría la huella hídrica más de un 1.000% respecto al ICEV; si el hidrógeno procede del gas natural, un 147%; si procede de la electrólisis del agua, dependerá de cómo se genere la energía eléctrica que se vaya a emplear en el proceso electrolítico.

Biocombustibles

Por último, si se considera el uso de biocombustibles en vehículos ICEV, se observan diferencias notables en sus impactos sobre la huella hídrica: el bioetanol, el biodiésel y el HVO (HVO, aceite vegetal hidrogenado, en su acrónimo en inglés), presentan una mayor huella hídrica que los combustibles fósiles empleados en los mismos motores de combustión interna.

Estos incrementos en la huella hídrica dependerán de la materia prima empleada para el proceso de obtención del biocombustible. En el caso del biodiésel y el HVO la huella hídrica podría incrementarse hasta 4-8 veces; en

el caso del bioetanol, y debido a los altos requerimientos de agua por parte de los cultivos de partida, los incrementos podrían llegar a ser de varios órdenes de magnitud.

El consumo del recurso hídrico de estas fuentes energéticas se reduce notablemente en el caso de que las materias primas de partida fuesen residuos utilizados como materias primas secundarias, donde incluso se pueden estar evitando cargas ambientales, asociadas a la propia gestión de estos residuos.

Referencias citadas y otras referencias bibliográficas consideradas en la revisión llevada a cabo:

- Agencia Internacional de la Energía (AIE). (2019). El futuro del hidrógeno: análisis de una oportunidad clave para la transición energética. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- Ahmed, A.A.; Nazzal, M.A.; Darras, B.M.; Deiab, I.M. (2023). Global warming potential, water footprint, and energy demand of shared autonomous electric vehicles incorporating circular economy practices. *Sustainable Production and Consumption*, 36 (2023) 449–462. Doi: 10.1016/j.spc.2023.02.001
- Burchart-Korol, D.; Jursova, S.; Folega, P.; Pustejovska, P. (2020). Life cycle impact assessment of electric vehicle battery charging in European Union countries. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120476. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120476
- Chang, Y.; Huang, R.; Ries, R.J.; Masanet, E. (2015). Life-cycle comparison of greenhouse gas emissions and water consumption for coal and shale gas fired power generation in China. *Energy*, 86, 335-343. Doi: 10.1016/j.energy.2015.04.034
- Chul Kim, H.; Wallington, T.J.; Mueller, S.A.; Bras, B.; Guldborg, T.; Tejada, F. (2015). Life Cycle Water Use of Ford Focus Gasoline and Ford Focus Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, Volume 20, Number 5. Doi: 10.1111/jiec.12329
- Cihat Onat, N.; Kucukvar, M.; Tatari, O. (2018). Well-to-wheel water footprints of conventional versus electric vehicles in the United States: A state-based comparative analysis. *Journal of Cleaner Production*, 204, 788-802. Doi: 10.1016/j.jclepro.2018.09.010
- Dufour, J.; Iribarren, D. (2012). Life cycle assessment of biodiesel production from free fatty acid-rich wastes. *Renewable Energy*, 38, 155-162. Doi: 10.1016/j.renene.2011.07.016
- Hiloidhari, M.; Haran, S.; Banerjee, R.; Rao, A.B. (2021). Life cycle energy–carbon–water footprints of sugar, ethanol and electricity from sugarcane. *Bioresource Technology*, 330, 125012. Doi: 10.1016/j.biortech.2021.125012
- Hoekstra, A.Y.; Chapagain, A.K.; Aldaya, M.M. y Mekonnen, M.M. (2011). The water footprint assessment manual. Ed. Earthscan, Disponible en: <https://waterfootprint.org/en/resources/publications/water-footprint-assessment-manual/>
- Iannuzzi, L.; Hilbert, J.A.; Silva Lora, E.E. (2021). Life Cycle Assessment (LCA) for use on renewable sourced hydrogen fuel cell buses vs diesel engines buses in the city of Rosario, Argentina. *International journal of hydrogen energy*, 46, 29694-29705. Doi: 10.1016/j.ijhydene.2021.01.065
- KOUNINA, A.; MARGNI, M.; BAYART, J-B; BOULAY, A.-M.; BERGER, M.; BULLE, C.; FRISCHKNECHT, R.; KOEHLER, A.; MILA I CANALS, LL. y MOTOSHITA, M. (2012). Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(3):707-721. 10.1007/s11367-012-0519-3
- Morales, M.; González-García, S.; Aroca, G.; Moreira, M.T. (2015). Life cycle assessment of gasoline production and use in Chile. *Science of the Total Environment*, 505, 833–843. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.10.067

- Noori, M.; Gardner, S.; Tatari, O. (2015). Electric vehicle cost, emissions, and water footprint in the United States: Development of a regional optimization model. *Energy*, 89, 610-625. Doi: 10.1016/j.energy.2015.05.152
- Puricelli, S.; Costa, D.; Rigamonti, L.; Cardellini, G.; Casadei, S.; Samsu Koroma, M.; Messagie, M.; Grosso, M. (2022). Life Cycle Assessment of innovative fuel blends for passenger cars with a spark-ignition engine: A comparative approach. *Journal of Cleaner Production*, 378, 134535. Doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134535
- Roque, L.F.A.; da Costa, R.B.R.; de Souza, T.A.Z.; Coronado, C.J.R.; Pinto, G.M.; Cintra, A.J.A.; Raats, O.O.; Oliveira, B.M.; Frez, G.V.; Alves, L.F.R. (2023). Experimental analysis and life cycle assessment of green diesel (HVO) in dual-fuel operation with bioetanol. *Journal of Cleaner Production*, 389, 135989. Doi: 10.1016/j.jclepro.2023.135989
- Wang, L.; Shen, W.; Chul Kim, H.; Wallington, T.J.; Zhang, Q.; Han, W. (2020). Life cycle water use of gasoline and electric light-duty vehicles in China. *Resources, Conservation & Recycling*, 154, 104628. Doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104628
- Yang, J.; Xu, M.; Zhang, X.; Hu, Q.; Sommerfeld, M.; Chen, Y. (2011). Life-cycle analysis on biodiesel production from microalgae: Water footprint and nutrients balance. *Bioresource Technology*, 102, 159–165. Doi: 10.1016/j.biortech.2010.07.017
- Yao, D.; Liu, Y.; Xu, Z.; Zhu, Z.; Qi, J.; Wang, Y.; Cui, P. (2022). Comparative water footprint assessment of fuel cell electric vehicles and compressed natural gas vehicles. *Science of the Total Environment*, 830, 154820. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154820.