

ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL NEXO AGUA-ENERGÍA EN LA COMARCA AXARQUÍA 1990-2030

Enrique Tocados^a, Javier Martínez^a, Jaime Espinosa^b y Julio Berbel^{a*}

^a *Departamento de Economía Agraria, Universidad de Córdoba y Water, Environmental and Agricultural Resources Economics (WEARE) Research Group (Córdoba, o22tofre@uco.es, berbel@uco.es).*

^b *Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (Los Santos, z42estaj@uco.es).*

Resumen

El estudio analiza la evolución reciente del nexo agua-energía y del balance de carbono en la comarca de la Axarquía durante el periodo 1990-2030. Los resultados obtenidos en nuestro análisis muestran un déficit hídrico actual de 42 hm³ explicado por el desarrollo exponencial de los cultivos subtropicales en la comarca, con unas necesidades hídricas un 30% superiores a las actuales concesiones de derechos de agua. Las fuentes de agua alternativas, como el agua desalinizada, el agua depurada o los acuíferos profundos, son las más utilizadas para aumentar el suministro del recurso. Estas fuentes alternativas de agua sólo son posibles mediante la aplicación de procesos intensivos en energía y, por tanto, emisores de CO₂eq. Los resultados de este estudio muestran un horizonte 2030 preocupante con un aumento exponencial de las emisiones en el periodo 2022-2030. Por otro lado, considerando las emisiones netas de carbono, existe un balance positivo de 176.413 t de CO₂eq capturadas por la masa vegetal cultivada, compensando las emisiones producidas en el sistema agrícola, contribuyendo así a la mejora del medio ambiente y a la mitigación del cambio climático.

Palabras clave: Nexo agua-energía, Balance de carbono, Axarquía, Regadío

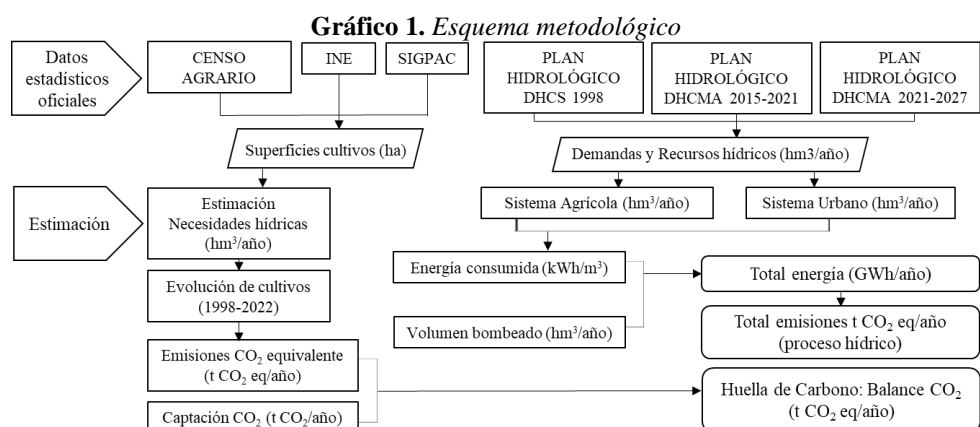
1. Introducción y objetivos

La escasez de lluvias y el aumento de los cultivos de regadío es un problema que afecta a muchas regiones áridas y semiáridas del mundo, donde los recursos de agua disponible se ven superados para abastecer la demanda creciente en los distintos sectores (urbano, industrial y agrario). Para satisfacer el aumento de la demanda, la respuesta tradicional ha sido aumentar la oferta. Sin embargo, las medidas relacionadas con la oferta se ven limitadas cuando se alcanza la capacidad máxima de suministro de agua y las cuencas o acuíferos se definen como "cerrados" [Expósito & Berbel (2019)]. La inversión en tecnologías de ahorro y conservación del agua ha sido una respuesta común a la oferta limitada en las cuencas cerradas, al igual que el aumento del consumo de energía, ya que están estrechamente relacionados [Zaman et al. (2012)]. El nexo agua-energía-alimentos (WEF) ha aparecido recientemente como una línea de investigación prioritaria en entornos académicos e institucionales [Zhang et al. (2019)]. El nexo WEF implica varios conceptos [Huckleberry & Potts (2019)]: (a) Agua-energía, que se refiere al consumo de energía para captar, almacenar, transportar y depurar agua, así como para el tratamiento de aguas residuales; (b) Energía-agua, que mide el uso de agua para la producción de energía termoeléctrica o hidroeléctrica; (c) Energía-alimentos, que mide el uso de energía para maquinaria y equipos para cultivos y la energía para el transporte de productos intermedios y finales; y finalmente (d) Agua-alimentos, como el agua necesaria para cultivar. Además, un quinto componente implica el análisis de la biomasa para la producción de energía. Este documento se centrará exclusivamente en el primer componente, es decir, el nexo agua-energía (WE) como subconjunto del marco global del WEF. La novedad de este estudio se basa en incluir la variable medioambiental dentro de esta componente, de forma que analizamos la huella de carbono mediante el balance de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) para observar el efecto que tiene, respecto al efecto derivado del nexo WE.

El caso de estudio seleccionado es la comarca de la Axarquía, situada en la costa oriental del sur de España, que cuenta con una intensa actividad agraria, y que se puede considerar como representativa de una zona árida/semiárida del entorno mediterráneo con necesidades de adaptación a la escasez de agua. Para ello, este estudio trata de caracterizar desde los puntos de vista agrario, económico e hidrológico el ámbito territorial de la Axarquía. El enfoque se centra en estudiar la trayectoria reciente en la explotación de los recursos hídricos describiendo de la forma más objetiva posible el sistema socio-hidrológico que lo define.

2. Materiales

El material básico de esta investigación es el de los datos oficiales publicados, aunque se han solventado lagunas de datos con ciertas estimaciones cuando la variable de interés no está directamente registrada. La metodología se describe en el gráfico 1 y muestra la fuente de datos y el proceso de estimación de las variables finales.



Fuente: Elaboración propia

2.1 Análisis de cultivos

Se ha realizado un análisis de la superficie cultivada en la comarca que abarca el periodo 1999-2022. Para ello se han utilizado los datos del Censo Agrario (1999), del INE (2009) y del SIGPAC (2018 y 2022). El detalle de estos datos es por “Grupos de cultivos”: Cítricos y frutales hueso, frutales de clima templado, subtropicales, frutales de fruto seco, olivar, viñedo, viveros, otros cultivos leñosos, hortalizas y otros.

Para profundizar en el análisis de la situación actual, se ha realizado una consulta a la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, que nos ha remitido datos de superficies de los cultivos unitarios correspondiente al ejercicio 2021:

- Cultivos leñosos: Aguacate, castaño, limonero, mango, naranjo, níspero, olivar, almendro, viñedo y otros (<100 ha)
- Cultivos herbáceos: Alcachofa, calabaza y calabacín, judía verde, lechuga, patata, pepino, pimiento, tomate, avena, cebada, trigo, veza y otros (<100 ha)

2.2 Análisis de los recursos hídricos

El análisis hídrico se basa en la información extraída de los Planes Hidrológicos pertenecientes a las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Evolución recursos y demandas de agua DHCMA

Recursos (hm ³)	Superf.	Subter.	Reutil.	Desal / Trasyv.	Total
1998	25	57	0	0	82
2015	45	39	0	0	85
2021	47	45	0	0	93
2030	50	39	13	25	102
Demanda (hm ³)	Urbana ⁽¹⁾	Regadío ⁽²⁾	Otras	Total	Déficit
1998	19	73	-	92	-10
2015	24	76	1	101	-16
2021	24	78	1	103	-11
2030	23	77	3	102	0

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de los Planes Hidrológicos (DHCMA, 2015, 2021; DHCS, 1998). (1) El sector urbano incluye la demanda industrial; (2) Derechos concesionales reconocidos

Estos datos de DHCMA se han contrastado con las necesidades hídricas de la superficie cultivada estimada en el epígrafe 2.1. Para ello, se ha seguido la metodología de FAO-56 en el cálculo de las estimaciones de las necesidades de riego de los distintos cultivos, excepto para los frutales, en los que se ha seguido a Moldero et al. (2021) y Moreno-Ortega et al. (2019).

2.3 Nexa Agua-Energía (WE)

Sistema agrícola (a): Se calcula la energía total anual (GWh) que se produce en todo el proceso de suministro hídrico agrícola en la Axarquía. Nuestro cálculo está basado en la metodología propuesta por Espinosa-Tasón et al. (2020). Según este estudio la energía consumida de riego depende del volumen bombeado, el sistema de riego, la eficiencia de la bomba y la fuente de combustible del motor.

Sistema urbano (b): La energía consumida en el abastecimiento urbano de agua se ha estimado mediante el producto de las demandas hídricas urbanas por el dato de la energía consumida por cada 1.000 litros de agua (kWh/m³). Las demandas urbanas utilizadas en el análisis se han extraído de los Planes hidrológicos

(DHCMA, 2015, 2021; DHCS, 1998). Total abastecimiento urbano: Agua potable + Agua residual = 0.94 kWh/m³

2.4 Emisiones de CO₂/energía

Para poder cuantificar las emisiones de CO₂eq en nuestra zona de estudio utilizamos los datos medios anuales a nivel Andaluz. Una vez obtenidas las emisiones en t CO₂eq /GWh, utilizamos los datos de energía calculados en el apartado 2.3.a para el sector agrícola y 2.3.b para el sector urbano, para obtener las emisiones totales de CO₂eq en la Axarquía mediante el producto de ambas variables (t CO₂eq/GWh x GWh).

2.5 Huella de Carbono (Balance CO₂eq)

La huella de carbono se determinó como la diferencia entre las emisiones de CO₂eq (relacionadas con las operaciones agrícolas) y la captura de CO₂ (carbono biogénico) por parte de los cultivos. Siguiendo la normativa ISO 14067 las emisiones de CO₂ tienen signo positivo, la captura de CO₂ tiene signo negativo y el balance de signo es el resultado de la suma de esos flujos.

3. Resultados

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos en cada uno de los sectores analizados.

3.1 Evolución de cultivos y necesidades hídricas

Los dos "grupos de cultivos" que han experimentado un mayor aumento de superficie en la Axarquía en el periodo 1999-2022 han sido los frutales subtropicales, con un incremento del 215%, y el olivo con un 1097%. Las superficies de los cultivos unitarios de la comarca agraria de la Axarquía en 2021, así como el porcentaje de superficie destinada a regadío en cada una de ellas. Los frutales subtropicales (aguacate y mango) representan el 66% del total de la superficie de regadío (14.080 ha), por lo que tienen un papel fundamental en relación con el incremento de las necesidades hídricas. El olivo de regadío ocupa el 5% del total de superficie regada en la comarca, por lo que, a pesar del importante crecimiento experimentado en la evolución analizada, pierde importancia en el análisis de las necesidades hídricas analizadas en este estudio. Las necesidades de riego totales estimadas para 2022 según la metodología FAO son de 120 hm³, mientras que los derechos concesionales establecidos en el Plan hidrológico (2021-2027) son de 78 hm³. Esta diferencia pone de manifiesto la existencia de un riego deficitario para muchos cultivos en relación con las necesidades hídricas totales estimadas por el modelo FAO 56 (condiciones de máxima producción). Por otro lado, el plan hidrológico asume una superficie de regadío inferior a la estimada en este estudio en base a los datos de la Junta de Andalucía. Por lo tanto, consideramos un déficit de 42 hm³ entre la oferta y la demanda de los recursos hídricos de la comarca de la Axarquía.

3.2 Nexo Agua-Energía (WE)

Sistema agrícola: Destaca el aumento exponencial estimado en el consumo energético del sector agrícola para el horizonte 2022-2030 (>80 GWh/año). La reducción de recursos disponibles debido a los continuos procesos de sequía, y el aumento de la demanda de los nuevos cultivos, obliga a la utilización de nuevos recursos hídricos no disponibles de forma inmediata, sino que necesitan de la utilización de procesos con un alto coste energético para poder ser utilizados (desalación, depuración y aguas subterráneas profundas).

Sistema Urbano: La dotación de agua total que sale de los depósitos de distribución para el consumo es de 237 litros por habitante y día. El volumen de agua no registrada (ANR) que incluye las pérdidas aparentes y reales del agua es del 23%. Por lo tanto, de los 182 litros disponibles para abastecimiento, el 70% se destina para uso doméstico, el 16 % uso industrial y un 13% para otros. El consumo urbano de energía no muestra cambios significativos en la tendencia (valores entre 18 GWh/año y 22 GWh/año), teniendo unos valores prácticamente constantes a lo largo del tiempo, sin mostrar cambios significativos. Los resultados hacia el horizonte 2030 muestran un ligero descenso en el consumo eléctrico, como consecuencia del ajuste pronosticado por los planes hidrológicos en cuanto a la demanda de agua para uso urbano.

3.3 Emisiones de CO₂/energía

El mix de la red eléctrica española publicado por la CNMC en fecha 20 de abril de 2022 es de 259 g CO₂eq/kWh. En el caso del sistema eléctrico español, las emisiones se han venido reduciendo como consecuencia de la mayor tasa de energías renovables y la reducción de la producción con carbón, pasando de cerca de 80 MtCO₂eq en 2015, a aproximadamente 50 MtCO₂eq en 2019. El factor de emisión ha pasado de 290 t CO₂eq/GWh en 2015 a 136 t CO₂eq/GWh en 2021, lo que supone una reducción de más del 50%.

Sistema agrícola: Generación de energía en el sistema de abastecimiento hídrico agrícola, información calculada para los diferentes años de los Planes Hidrológicos.

- Energía producida:1998: 3,95 GWh; 2015: 7,01 GWh; 2022: 7,92 GWh; Horizonte 2030: 87,13 GWh

- Emisiones de CO₂ por GWh: 1650 t CO₂eq; 2015: 3405 t CO₂eq; 2022: 1702 t CO₂eq; Horizonte 2030: 21155 t CO₂eq

Sistema urbano: Generación de energía en el sistema de abastecimiento urbano (Agua potable + Tratamiento agua residual), información calculada para los diferentes años de los Planes Hidrológicos.

- Energía producida: 1998: 18,05 GWh; 2015: 22,80 GWh; 2022: 22,80 GWh; Horizonte 2030: 21,85 GWh
- Emisiones de CO₂ por GWh: 7538 t CO₂eq; 2015: 11076 t CO₂eq; 2022: 5536 t CO₂eq; Horizonte 2030: 5305 t CO₂eq

3.4 Balance de Carbono

Mediante el balance neto de carbono de la superficie agrícola de la Axarquía, se cuantifica el beneficio medio ambiental que supone en esta comarca los cultivos agrícolas presentes. Para dicho balance y siguiendo norma ISO, se realiza el sumatorio de la captura o fijación de CO₂ de cada cultivo (-374.440 t CO₂/año) y las emisiones de CO₂eq de cada cultivo (198.028 t CO₂eq/año). Los resultados del análisis muestran un valor negativo de -176.412 CO₂eq anuales dando lugar a una mejora del medio ambiente. El balance negativo muestra que las 33.776 ha de cultivos presentes en la Axarquía son eficientes sumideros de CO₂ atmosférico, destacando el papel de los leñosos frente a los herbáceos debido a su mayor beneficio medio ambiental.

4. Conclusiones

El presente estudio trata de ayudar a mejorar la comprensión de la evolución reciente del cultivo de subtropicales en la comarca agraria de la Axarquía, teniendo en cuenta el nexo WE, incorporando una componente medioambiental a través de la huella de carbono. Los resultados obtenidos en nuestro análisis muestran un déficit hídrico actual de 42 hm³ debido al desarrollo exponencial del cultivo de subtropicales en la comarca. Las necesidades hídricas del mango y del aguacate para alcanzar los máximos rendimientos son superiores a 7.500 m³/ha·año, un 30% por encima de las concesiones actuales de derecho de uso del agua [Moreno-Ortega et al. (2019)]. Podemos encontrar medidas para reducir el déficit hídrico como la mejora en la eficiencia del riego, sistemas de cultivo alternativo, o el riego deficitario, se utilizan para disminuir la demanda de riego. Acudir a fuentes alternativas de agua como el agua desalada, agua depurada o acuíferos profundos son las más utilizadas para aumentar la oferta del recurso. Estas fuentes alternativas de agua sólo son posibles mediante la aplicación de procesos demandantes de grandes cantidades de energía, y por lo tanto emisores de CO₂eq. Los resultados de este estudio muestran horizonte 2030 preocupante con un aumento exponencial de emisiones en el periodo 2022-2030. El análisis del nexo WEFE considera las interacciones Agua-Energía-Alimentos-Medioambiente. Este estudio refleja un balance positivo. Los 176.413 t de CO₂eq capturados por la masa vegetal cultivada, compensan las emisiones producidas en el sistema agrícola, contribuyendo así a la mejora del medioambiente y a la mitigación del cambio climático.

5. Bibliografía

- DHCS. (1998). Plan hidrológico de Cuenca del Sur 1998.
- DHCMA. (2015). Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (2015-2021).
- DHCMA. (2021). Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (2021-2027).
- Expósito, A., y Berbel, J. (2019). “Drivers of Irrigation Water Productivity and Basin Closure Process: Analysis of the Guadalquivir River Basin (Spain)”. *Water Resources Management*, 33(4), 1439-1450.
- Espinosa-Tasón, J., Berbel, J., y Gutiérrez-Martín, C. (2020). “Energized water: Evolution of water-energy nexus in the Spanish irrigated agriculture, 1950–2017”. *Agricultural Water Management*, 233, 106073.
- Huckleberry, J. K., y Potts, M. D. (2019). “Constraints to implementing the food-energy-water nexus concept: Governance in the Lower Colorado River Basin”. *Environmental Science & Policy*, 92, 289-298.
- Moldero, D., López-Bernal, Á., Testi, L., Lorite, I. J., Fereres, E., y Orgaz, F. (2021). “Long-term almond yield response to deficit irrigation”. *Irrigation Science*, 39(4), 409-420.
- Moreno-Ortega, G., Pliego, C., Sarmiento, D., Barceló, A., y Martínez-Ferri, E. (2019). “Yield and fruit quality of avocado trees under different regimes of water supply in the subtropical coast of Spain”. *Agricultural Water Management*, 221, 192-201.
- Zaman, K., Khan, M. M., Ahmad, M., y Rustam, R. (2012). “The relationship between agricultural technology and energy demand in Pakistan”. *Energy Policy*, 44, 268-279.
- Zhang, P., Zhang, L., Chang, Y., Xu, M., Hao, Y., Liang, S., y Wang, C. (2019). “Food-energy-water (FEW) nexus for urban sustainability: A comprehensive review”. *Resources, Conservation and Recycling*, 142, 215-224.