

CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

GOTHAM

Hacia un cambio de paradigma en la gestión de las aguas subterráneas por parte de los usuarios finales



Autor Principal: Javier Martínez Dalmau (Universidad de Córdoba)

Otros autores: Blanca Cuadrado Alarcón (Universidad de Córdoba); Carlos Gutiérrez Martín (Water, Environmental and Agricultural Resources Economics -WEARE. Universidad de Córdoba)

ÍNDICE

1. Título
2. Resumen
3. Introducción
4. Caso de estudio
5. Metodología
6. Resultados preliminares
7. Conclusiones
8. Bibliografía

1. TÍTULO

GOTHAM

Hacia un cambio de paradigma en la gestión de las aguas subterráneas por parte de los usuarios finales

2. RESUMEN

La herramienta GTool, aún en desarrollo, está diseñada para mejorar la gobernanza del agua subterránea. Esta herramienta se desarrolla dentro del proyecto GOTHAM, financiado por la Unión Europea, que se focaliza en tres casos de estudio: Campo de Dalías en España, laat Baalbeck-Hermel en El Líbano y Azrag Basin-Zarqa en Jordania. GTool se divide en diferentes módulos diseñados por expertos en cada materia, uno de ellos es el de modelo agroeconómico, desarrollado por el grupo de investigación WEARE de la Universidad de Córdoba. En este trabajo mostramos los resultados preliminares del modelo agroeconómico en el caso de estudio de Campo de Dalías (Almería).

Comenzamos con una revisión bibliográfica de la zona de estudio, obteniendo información agrícola y económica de diversas fuentes. Para poder utilizarla para alimentar el modelo, creamos un modelo del comportamiento agrícola y económico para cada combinación representativa de cultivos bajo invernadero, interconectando la información obtenida de la bibliografía. Los datos obtenidos son los de entrada del modelo agroeconómico de toma de decisiones, en el que utilizamos el enfoque de Programación Matemática Positiva (PMP) desarrollado por Howitt que utiliza una función cuadrática para calibrar los costes lo que le permite ofrecer soluciones flexibles y adaptadas a la realidad al maximizar el beneficio en los escenarios simulados.

Los resultados obtenidos nos permiten concluir que el modelo PMP es una herramienta válida para simular la respuesta de cultivos debidamente caracterizados ante diferentes escenarios relacionados con la disponibilidad, calidad y precio del agua de riego, así como de cualquier otra variable de carácter económico que pueda modificar la renta esperada por los agricultores.

3. INTRODUCCIÓN

Gotham es un proyecto ideado para hacer frente a los desafíos de la gestión de las aguas subterráneas del entorno Mediterráneo, con el fin último de garantizar su uso sostenible a largo plazo. Su objetivo es guiar un cambio de paradigma de la gestión de las aguas subterráneas contando con la participación de los usuarios finales. El proyecto está dirigido por Cetaqua y reúne a siete socios del área mediterránea, entre los que se encuentran empresas privadas (GAC Group, Ingegneria Informatica), una universidad (Universidad de Córdoba), una ONG internacional (Istituto per la Cooperazione Universitaria) e instituciones públicas (The National Agricultural Research Center in Jordan). Juntos, pretendemos crear una herramienta

dirigida por el usuario que permita una gobernanza eficaz para la preservación de la cantidad y la calidad de las aguas subterráneas en la cuenca mediterránea. El proyecto está financiado por la Comisión Europea en el marco del programa PRIMA (Asociación para la Investigación y la Innovación en el Área Mediterránea), comenzó el 1 de abril de 2020 y tiene una duración de 36 semanas.

La cuenca mediterránea ha sido identificada como una de las cuencas del mundo con mayor riesgo debido a los cambios climáticos y antropogénicos [1]. Los litorales meridional y oriental de la cuenca son las zonas más vulnerables ya que cuentan con tan solo el 2% y el 4% respectivamente de los recursos hídricos de la cuenca [2]. A esta limitación de recursos se une un ritmo creciente de la demanda hídrica debido al aumento de población, de la superficie de cultivos en régimen de regadío, del turismo o del sector industrial [3]. Todo ello influye para que esta zona esté considerada actualmente como una de las zonas más sensibles al cambio climático debido al estrés hídrico al que están sometido.

GOTHAM asume el reto del agotamiento del agua para superar este estrés hídrico, haciendo hincapié en la situación y evolución de las aguas subterráneas. Los actuales modelos de gobernanza de las aguas subterráneas son una fuente inconexa de resolución de problemas y generación de conocimientos en cada nivel de decisión, pero donde cada actor no participa de la información generada en otros estamentos distintos a los que en él participa. Por ello, Gotham pretende instaurarse como un instrumento capaz de permitir el intercambio de datos entre los diferentes interesados y usuarios del agua y de integrar esta información de gran valor en las decisiones sobre la gobernanza de las aguas subterráneas. Los beneficios de este intercambio de información son amplios y permitirían superar las limitaciones críticas de la gobernabilidad actual. Por lo tanto, es necesario contar con una herramienta que permita el intercambio de datos entre las diferentes partes interesadas y los usuarios del agua y que integre esta información tan valiosa en la toma de decisiones sobre la gobernanza de las aguas subterráneas.

El proyecto GOTHAM tiene como objetivo proporcionar una herramienta de este tipo, el GTool. El GTool es una herramienta innovadora de gobernanza de las aguas subterráneas que va a ser diseñada conjuntamente por todas las partes interesadas en el agua (reguladores, usuarios finales del agua, productores y proveedores de agua). Permitirá un nuevo marco de gestión de las aguas subterráneas basado en los usuarios (enfoque ascendente) en lugar del actual modelo descendente en el que el regulador establece las normas de aplicación de forma (casi) única. Se considera que ésta es la única manera de alcanzar una gestión sostenible a largo plazo de los acuíferos, abordando su complejidad en términos de incertidumbre (en cuanto a recursos, embalses o geometría interna, etc.) y de vigilancia y control por parte de las administraciones.

El objetivo general del proyecto GOTHAM es desarrollar y validar un instrumento orientado al usuario que permita una gestión eficaz de las aguas subterráneas para preservar en última instancia la cantidad y la calidad de este recurso estratégico en la cuenca del Mediterráneo. La herramienta GOTHAM (GTool) utiliza un enfoque metodológico integrado que apunta a la asignación óptima de los recursos hídricos desde una perspectiva ambiental, social y económica, incluyendo el conocimiento, las prioridades y el comportamiento de los interesados. Uno de los principales puntos fuertes del instrumento es que proporciona un marco común para la colaboración y el compromiso de los diferentes usuarios del agua (comunidades agrícolas, los usuarios municipales e industriales), de las organizaciones de producción, de gestión y demás interesados pertinentes. La herramienta GTool permitirá

intercambiar información para alcanzar una óptima gestión del agua adaptada a cada situación, así como predecir escenarios futuros, haciendo uso de la visión por ordenador, el aprendizaje automático y otras tecnologías de inteligencia artificial para llevar a cabo la predicción de los cambios en la demanda agrícola y la evaluación de las estrategias de mitigación de la intrusión de agua de mar (como la Recarga Gestionada de Acuíferos), entre otros. Además, GTool utilizará Blockchain para permitir los derechos de intercambio de agua entre los usuarios finales del agua y aprovechará los habilitadores genéricos de FIWARE (www.fiware.org) como bloques de construcción que adoptan estándares y especificaciones abiertas para la gestión de datos.

La elaboración de la herramienta propuesta se basa en casos de estudios sobre los que se consideran seis módulos analíticos:

- El módulo de balance hídrico y dinámica de la calidad del agua utiliza la investigación avanzada de las principales formaciones acuíferas y la monitorización en tiempo real (in situ y a distancia), incluyendo el análisis preliminar de la información hidrogeológica e hidrometeorológica de fondo para crear una línea de base.
- El módulo de previsión de la disponibilidad y la demanda de agua predice diferentes escenarios hídricos y evalúa su impacto en el estado de la calidad y la cantidad de las aguas subterráneas utilizando mediciones de teledetección para modelar la demanda de agua para la agricultura y evaluar la disponibilidad de agua.
- El módulo de Recarga Gestionada de Acuíferos (MAR) y remediación de acuíferos moviliza el análisis multicriterio (entorno QGIS), incluyendo indicadores hidrogeológicos, económicos y químicos (calidad del agua), así como las restricciones reglamentarias para evaluar la viabilidad de los esquemas MAR.
- El módulo agroeconómico simula el efecto de diferentes instrumentos económicos, como las estructuras tarifarias del agua, los contextos de los mercados del agua y los incentivos para el ahorro de agua (gestión de la demanda de agua) y la evaluación de los valores de uso económico en escenarios alternativos de asignación de recursos.
- El módulo de compromiso del usuario permite fijar las prioridades del agua (condiciones límite del agua) por parte de los usuarios, teniendo en cuenta los recursos hídricos para satisfacer la demanda de agua.
- El módulo de asignación optimizada del agua calcula la combinación óptima de fuentes de agua que satisfacen sus necesidades

El presente comunicado se divide en los siguientes apartados, el número dos describe el caso de estudio, el número tres la metodología empleada, posteriormente mostramos los resultados obtenidos para finalizar con las conclusiones extraídas del trabajo realizado.

4. CASO DE ESTUDIO

Para diseñar la GTool se han designado tres casos piloto como representativos de la zona meridional y oriental de la cuenca caracterizada por el problema del estrés hídrico: Campo de Dalías en España, laat Baalbeck-Hermel en Líbano y Azrag Basin-Zarqa en Jordania. La Universidad de Córdoba a través de investigadores integrados en su departamento de economía agraria es la responsable en liderar el módulo agroeconómico, cuyo objetivo

principal es diseñar un modelo de toma de decisiones agrícolas en relación con la selección de cultivos y la asignación del uso del agua. El modelo agroeconómico tiene que desarrollar una simulación detallada de los principales cultivos de la zona con el análisis de las variables económicas (ingresos, costos, beneficios) así como la respuesta de éstos al agua, debe permitir la simulación de diferentes escenarios políticos y naturales como estructuras de tarifas de agua, eventos de sequía o de disminución de la calidad del agua.

El proyecto GOTHAM está en su fase intermedia correspondiente al análisis de datos y elaboración de modelos, por lo que en el presente congreso pasamos a presentar únicamente el modelo agroeconómico y los resultados obtenidos en el caso de estudio de Campo de Dalías (España). La comarca agraria denominada Campo de Dalías se ubica al suroeste de la provincia de Almería, constituida por nueve municipios (Adra, Berja, Dalías, Enix, Felix, Roquetas de Mar, El Ejido, Vícar y la Mojenera) limita al oeste con la provincia de Granada y la sierra de Adra, al norte por la Sierra de Gádor, al este con la comarca del Campo de Nijar y bajo Andarax y al sur con el mar Mediterráneo. Se trata de una planicie árida que cuenta con numerosos acuíferos que recogen las filtraciones procedentes de las sierras de Gádor, Adra y Sierra Nevada. La principal actividad económica de la comarca es el cultivo de hortalizas bajo invernadero, cuenta con 21.285 hectáreas de superficie de invernaderos siendo la superficie con mayor concentración de invernaderos de Europa [4].

Para realizar el modelo agroeconómico, tenemos que partir de datos que nos permitan caracterizar la actividad de la zona objeto del estudio. La actividad agraria del Campo de Dalías se caracteriza por estar muy atomizada. La superficie media por explotación en la comarca es de 24.556 m² [4], es decir, tenemos en torno a 8.600 empresarios independientes tomando las decisiones más adecuadas para su explotación, lo que da una idea de lo heterogéneo de la realidad agraria en la comarca en cuanto a combinaciones de cultivo, variedades elegidas, fechas de comienzo y finalización de campaña, etc. Por otro lado, no existen series estadísticas publicadas sobre la actividad agraria concreta del Campo de Dalías, por lo que en primer lugar tenemos que estimar los datos necesarios para poder alimentar un modelo que nos permita realizar simulaciones. Después de un proceso de investigación y búsqueda, los datos originales utilizados como base para la estimación y las distintas fuentes de procedencia han sido:

- a) Costes de cultivo por campaña (hortícolas protegidos) (Eur/ha). El dato publicado por el Observatorio de Precios y Mercados de la Junta de Andalucía (OPM) discrimina por tipo de producto y sistema de producción [5]. El sistema de producción en invernadero utilizado en Andalucía es el denominado “invernadero tipo Almería” [6], que conserva una estructura de costes similar en toda la región.
- b) Distribución mensual de producto comercializado (%). OPM publica unas gráficas con la distribución mensual de los productos comercializados [7]. El destino de la producción de los invernaderos del Campo de Dalías es el mercado centroeuropeo, y la producción y comercialización mensual coincide, ya que, el producto comercializado es muy perecedero y los estándares de calidad de los mercados de destino nos muy exigentes, por lo que la producción diaria, tarda un día en llegar a destino. Contactamos con la Agencia de gestión Agraria de la Junta de Andalucía (AGAPA) que nos facilitó el dato concreto del porcentaje mensual representado en las gráficas.
- c) Necesidades hídricas de los cultivos (m³/ha). La Estación Experimental Cajamar localizada en El Ejido (Almería) publica el consumo de agua de los cultivos bajo invernadero estimados en sus instalaciones [8]. Estos datos han sido corregidos

mediante unos factores para introducir en el modelo el efecto del encalado de las cubiertas de los invernaderos [9].

- d) Combinaciones de cultivos presentes en el Campo de Dalías (ha) [4]. La diversidad de variedades de cada producto y de las características de cada comarca, dificulta la extrapolación de los datos provinciales a la comarca objeto de estudio. Esta publicación nos permite reducir la enorme casuística potencial y centrarnos en aquellos productos y combinaciones de éstos que realmente se dan en el Campo de Dalías. Los datos publicados sólo suponen el 80'30% de la superficie invernada, por lo que solicitamos al personal del AGAPA el resto de las combinaciones de cultivo presentes en Dalías y no publicadas. En este trabajo se han caracterizado las 20 combinaciones que representan el 94'3% del total de la superficie invernada en la comarca estudiada, el resto de las combinaciones no nos parecían representativas ya que no superaban las 100 ha.

Los cultivos de invernadero en la zona se pueden clasificar principalmente en cultivos de otoño, cultivos de primavera, o cultivos de ciclo largo, es decir, que ocupan ambos ciclos. Los ciclos de cultivo están bien diferenciados, con el cultivo de otoño entre los meses de agosto y enero, y el cultivo de primavera entre los meses de febrero y junio. En esta área se cultivan principalmente pimiento, pepino, calabacín, berenjena, judía y tomate, y en la campaña de primavera se añaden los cultivos de sandía y el melón, combinados como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Superficie de cultivo asociada a cada combinación de cultivos

Combinación de cultivos	Superficie (ha)
Pimiento	7575,33
Pimiento-melón	2128,50
Tomate ciclo largo	1577,22
Berenjena	1419,71
Pimiento-sandía	1334,57
Calabacín-calabacín	1294,13
Pepino	994,01
Pepino-melón	749,23
Pepino-tomate	696,02
Pepino-sandía	457,63
Pepino-pimiento	249,03
Calabacín-melón	244,78
Pepino-calabacín	240,52
Pimiento-judías verdes	223,49
Calabacín-sandía	214,98
Calabacín-judías verdes	204,34
Calabacín-pimiento	142,61
Judías verdes-judías verdes	119,20
Pimiento-pepino	114,94
Calabacín-pepino	100,04
Otros	1204,73
Total	21285,00

Fuente: Elaboración propia

- e) Rendimiento medio por campaña (kg/ha) [6] para cada cultivo. Este dato es específico para la zona de Campo de Dalías. Y diferencia los rendimientos medios según el ciclo del cultivo.
- f) Superficie invernada en el Campo de Dalías (ha) [10]. La Junta de Andalucía publica periódicamente estudios basados en imágenes por satélite. Esta técnica permite localizar y cuantificar de forma rápida la superficie cubierta de plástico para una región geográfica extensa.
- g) Precio mensual por producto percibido por el agricultor. Hortícolas protegidas (Eur/kg) [11].
- h) Sensibilidad de los cultivos a la salinidad (dS/m). La sensibilidad de los cultivos a la salinidad ha sido ampliamente estudiada desde que Maas and Hoffman [12] publicaran los parámetros que definen la respuesta de los cultivos a la cantidad de solutos disueltos en el agua/suelo. Estos parámetros consisten en un umbral de concentración de solutos a partir del cual el cultivo correspondiente empieza a disminuir su rendimiento y, la pendiente con la que este rendimiento de producción disminuye a partir del umbral antes definido.

5. METODOLOGÍA

Para poder simular necesitamos alimentar el modelo con datos mensualizados que representen la realidad de la actividad agrícola del Campo de Dalías. La distribución de las distintas combinaciones presentes en la comarca nos permitió estimar el rendimiento anual medio (kg/ha), las necesidades hídricas (m^3/ha) y la superficie (ha) ocupada por cada combinación de cultivo existente también en la comarca del Campo de Dalías. Igualmente, la distribución mensual de producción nos permitió prorratear tanto los rendimientos como las distintas partidas de coste de cada combinación en tantos meses como dure la campaña.

La figura 1 muestra gráficamente la metodología empleada para estimar, a partir de estos datos originales, los parámetros necesarios para introducir en el modelo.

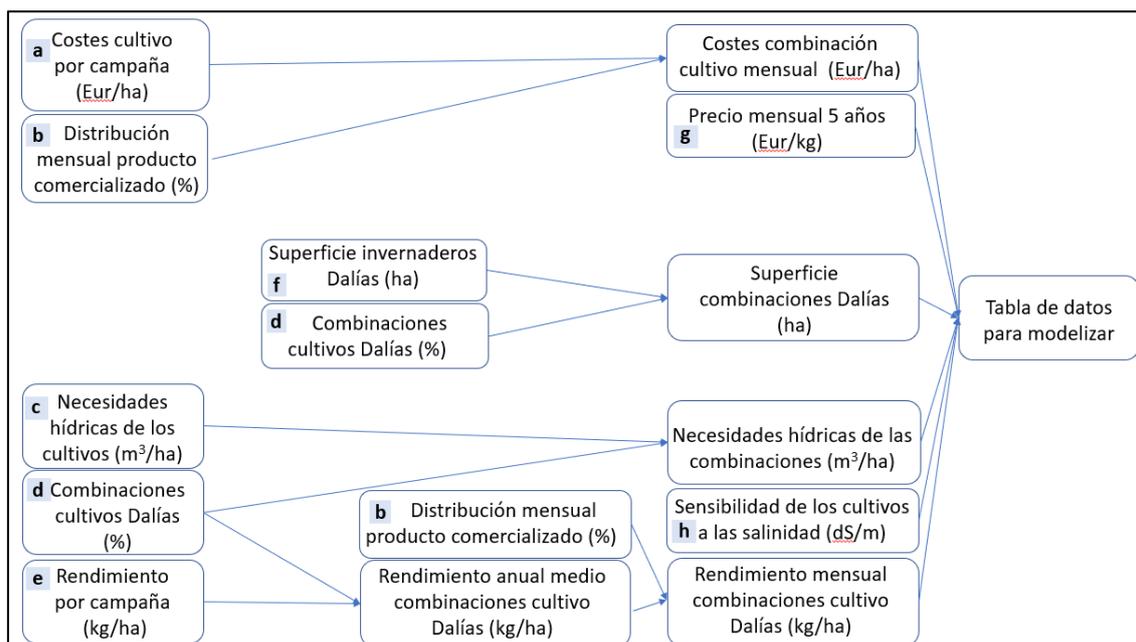


Figura 1. Metodología de estimación de datos. (Elaboración propia)

Una vez que tenemos caracterizada la actividad agraria de la comarca podemos empezar a probar modelos que nos permitan realizar simulaciones. El agricultor toma decisiones buscando maximizar su beneficio en una situación dada y tomará nuevas decisiones cuando cualquier modificación del escenario implique una reducción de su renta o suponga una oportunidad que le permita aumentarla. Debido a los ciclos de las actividades agrícolas realizadas en el Campo de Dalías, el agricultor toma las decisiones de los cultivos a desarrollar en cada campaña a principio de verano para cubrir la “campaña de otoño” y a comienzo del invierno siguiente para cubrir la “campaña de primavera”.

Los modelos basados en algoritmos matemáticos ofrecen una gran versatilidad para integrar información desagregada ya sea de carácter económica o técnica, por ello representan el enfoque metodológico más apropiado para simular el comportamiento de los agricultores frente a distintos escenarios [13,14]. En este trabajo aplicamos la programación matemática (PM) para la construcción de un modelo que permita simular el comportamiento de cada una de las combinaciones de cultivo caracterizada, ante variaciones de precio de los cultivos, de cantidad de agua disponible, del precio del agua y de la calidad de agua disponible. Concretamente, utilizamos el enfoque de Programación Matemática Positiva (PMP) desarrollado por Howitt [15] que utiliza una función cuadrática para calibrar los costes lo que le permite ofrecer soluciones flexibles y adaptadas a la realidad al maximizar el beneficio en los escenarios simulados.

6. RESULTADOS PRELIMINARES

El cuadro 2 muestra la caracterización de la combinación de Pimiento (cultivo de otoño) y melón (cultivo de primavera) como ejemplo de los resultados obtenidos en el tratamiento de los datos originales. En el mismo podemos observar como las distintas partidas de gasto e ingresos que componen el margen bruto, y la demanda de agua, han sido desagregadas por meses.

Cuadro 2. Ejemplo de caracterización de una combinación de productos (pimiento-melón)

Pepper + Melon	Cycle	jul	aug	sept	oct	nov	dic	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul
Area (ha)		2.129	2.129	2.129	2.129	2.129	2.129	2.129	2.129	2.129	2.129	2.129	2.129	2.129
Production (%)		0,00%	0,00%	3,59%	9,65%	15,38%	16,39%	8,70%	8,25%	0,00%	2,28%	24,27%	11,49%	0,00%
Yield (kg/Ha)	121.200	-	-	4.354	11.700	18.639	19.863	10.544	10.000	-	2.766	29.412	13.922	-
Wter Req (m3/ha)	6.697	129	372	900	808	470	294	303	42	165	674	1.166	1.374	-
Price Average (Eur/kg)		-	-	0,74	0,68	0,68	0,76	0,91	0,98	-	0,69	0,56	0,42	0,23
Direct Cost (Eur/ha)	16.170	8.975	285	285	285	285	285	285	4.727	152	152	152	152	152
Variable cost*(Eur/ha)	16.881	-	-	604	1.622	2.584	2.754	1.462	1.386	-	388	4.127	1.953	-
Water cost (Eur/ha)	944	25	72	174	156	91	57	59	4	15	61	106	125	-
Net margin [10x13]-[13-14x10]-[16]]	48.551	-9.000	-357	2.143	5.925	9.776	11.912	7.796	3.696	-167	1.305	11.998	3.675	-152

Fuente: Elaboración propia

Estos datos nos permiten elaborar una matriz de datos de entrada del modelo PMP en el periodo que nosotros consideremos oportuno. Debido a los ciclos de cultivos realizados en el Campo de Dalías, decidimos realizar la calibración del modelo en enero, ya que es esta la fecha límite que tienen los agricultores para decidir si siguen con el plan establecido a principio de campaña, o si lo modifican iniciando un nuevo “cultivo de primavera”, dependiendo de las nuevas circunstancias. Realizamos cuatro tipos de simulaciones diferentes (disminución de agua disponible para riego; incremento del precio del agua; aumento de la salinidad del agua y modificación de los precios de los productos).

- Disminución del agua disponible para riego

Hacemos una simulación progresiva reduciendo en cada paso un 1% del agua disponible. Como podemos ver en la figura 2, el modelo muestra una respuesta diferente para cada combinación de cultivo dependiendo de sus requerimientos hídricos y de los rendimientos esperados hasta final de campaña. El abandono de la superficie cultivada y la pérdida de margen bruto del sistema en términos agregados es menor que proporcional a la disminución del agua disponible, como puede comprobarse en la figura 3, lo que queda explicado por la ley de los rendimientos decrecientes y por la propia metodología del enfoque PMP que, como ya se ha explicado, utiliza una función cuadrática para suavizar la respuesta del modelo a los cambios propuestos en las simulaciones.

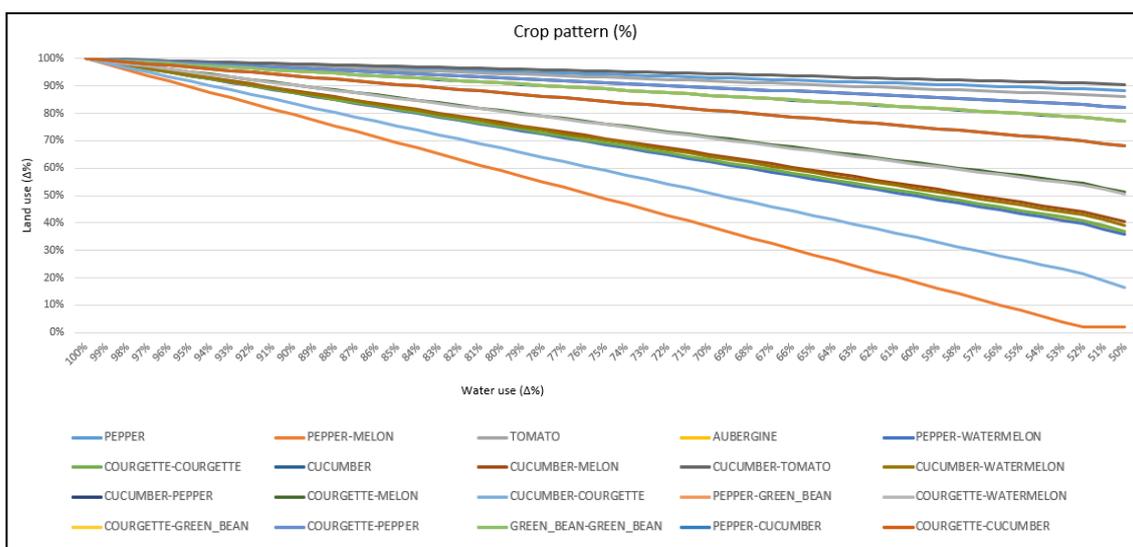


Figura 2. Respuesta de los distintos cultivos a la disminución progresiva de agua de riego. Elaboración propia

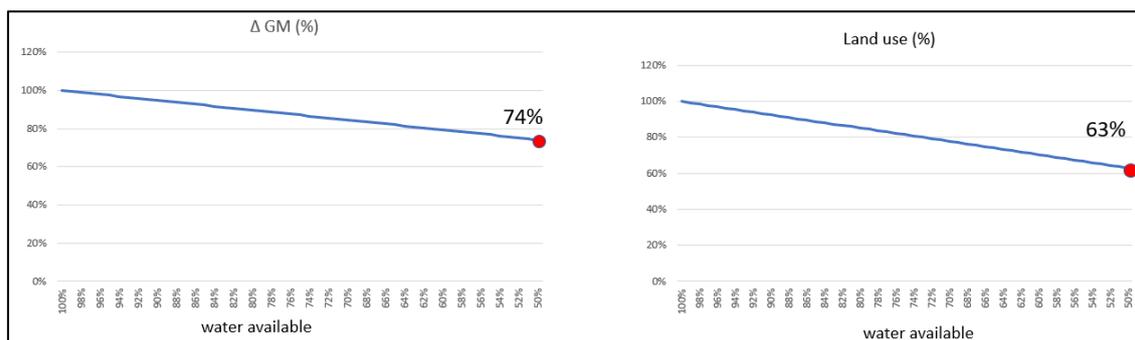


Figura 3. Respuesta del margen bruto y del abandono de tierra utilizada ante la disminución progresiva de agua de riego. Elaboración propia

- Aumento del coste del agua

En segundo lugar, simulamos el efecto que tendría la imposición de una tasa del agua, mediante un incremento progresivo desde un céntimo de euro hasta un euro por m^3 del agua de riego utilizado. El modelo nos vuelve a dar resultados coherentes y extrapolables a la realidad ya que, el sistema tiene una respuesta inelástica a estos incrementos en el precio del agua. La figura 4 muestra las curvas de uso de agua y de margen bruto a la imposición de la tasa y ambas reflejan con claridad el mínimo efecto que esta medida tiene sobre el comportamiento de los agricultores debido a los altos márgenes que obtienen por su producción en relación con los m^3 de agua consumidos.

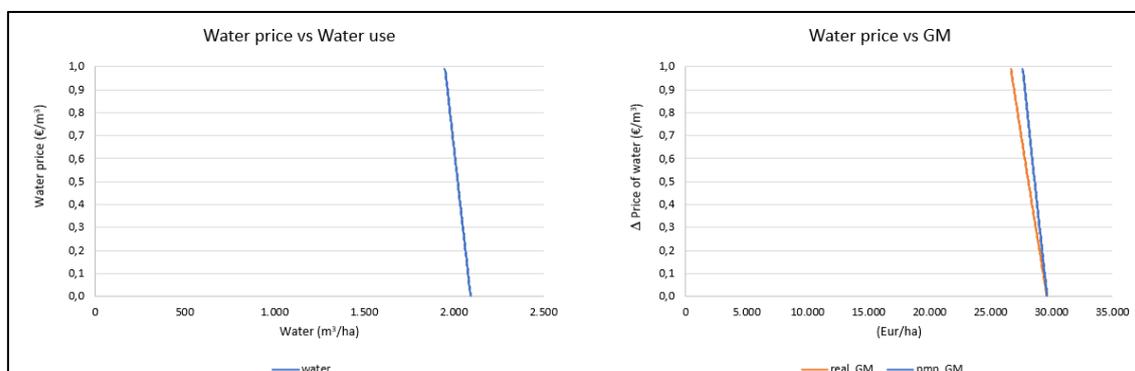


Figura 4. Cantidad del agua utilizada y margen bruto agregado ante el aumento progresivo del precio del m^3 del agua de riego utilizada. Elaboración propia

- Aumento de la salinidad en el agua de riego

La tercera simulación consiste disminuir la calidad del agua mediante el aumento de su salinidad. En este caso vemos como los cultivos más sensibles a la salinidad son los primeros que son abandonados por los agricultores. El primer cultivo que elimina el modelo es el de la judía verde, lo que coincide con lo que está ocurriendo actualmente en el Campo de Dalías, donde este cultivo está siendo desplazado debido al aumento de la salinidad del agua de los acuíferos.

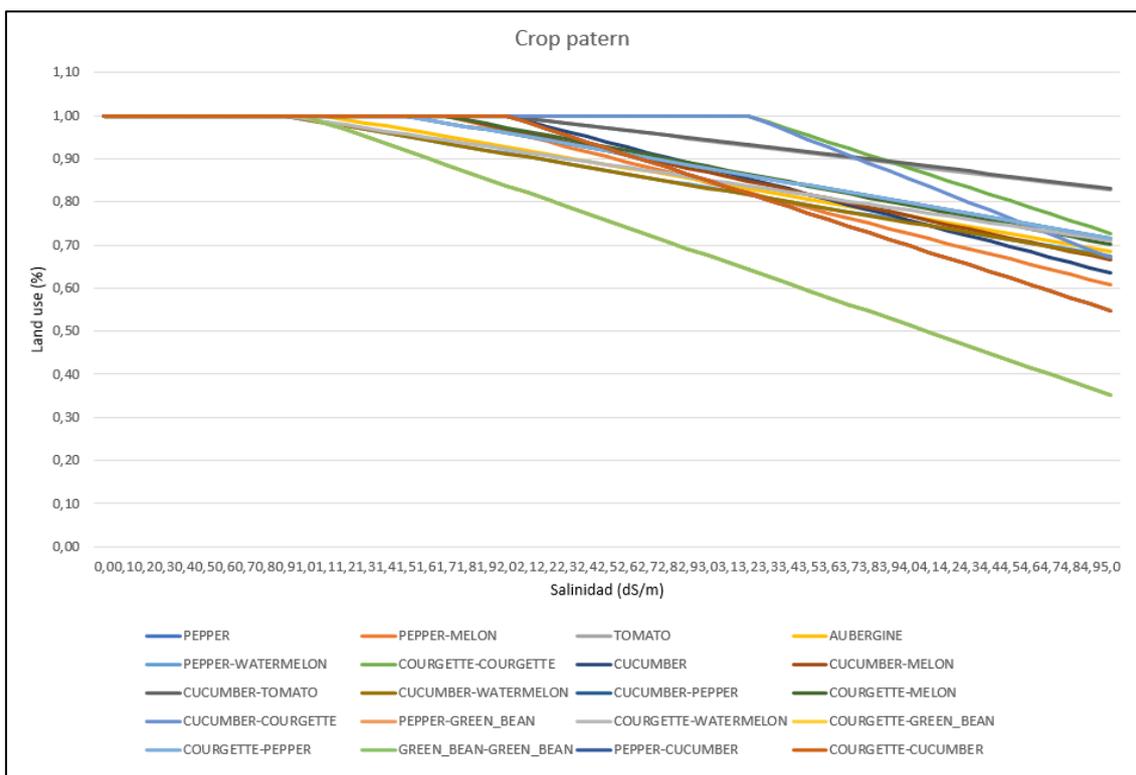


Figura 5. Respuesta de los cultivos al incremento de salinidad en el agua de riego utilizada. Elaboración propia

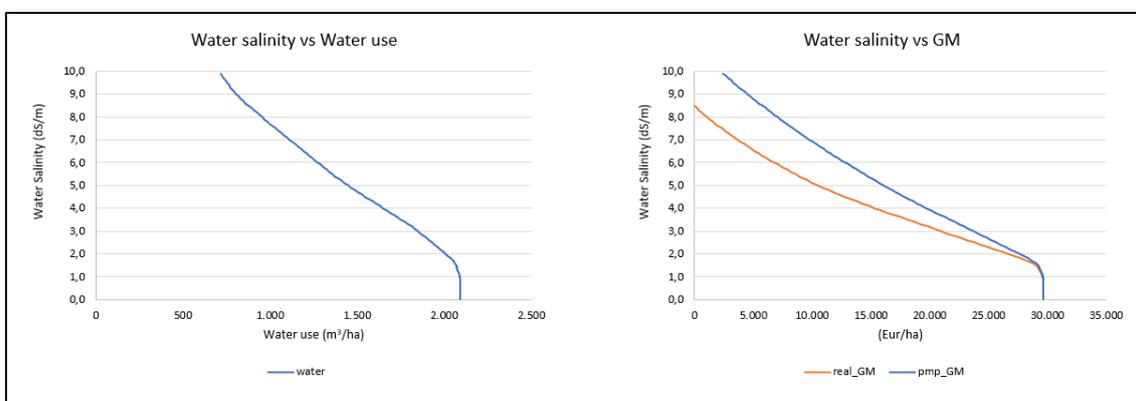


Figura 6. Cantidad del agua utilizada y margen bruto agregado ante el aumento progresivo de la salinidad del agua. Elaboración propia

- Modificación de precios de venta de los cultivos

En esta última tipología de simulación hemos realizado modificaciones puntuales de precios de distintos cultivos y el modelo vuelve a dar respuestas coherentes disminuyendo la superficie cultivada de aquellos cultivos para los que baja la cotización y aumentando la superficie de aquellos cultivos que mejoran su precio. En el Cuadro 3 mostramos el ejemplo de la siguiente simulación: reducción de un 20% del precio del pimiento, aumento de un 20% del precio del melón y reducción del precio de tomate en un 30%.

Cuadro 3. Respuesta a la simulación de modificación de precio (Pimiento -20%; Melón +30%; Tomate -30%).

	Δ sup (ha)
Pimiento	-1054
Calabacín	-51
Pepino	-15
Melón	742
Tomate	-539
Berengena	-46
Sandía	-63
Judía verde	-6

Fuente: Elaboración propia

7. CONCLUSIONES

Los resultados mostrados nos permiten concluir que el modelo PMP propuesto por Howitt es una herramienta válida para simular la respuesta de cultivos debidamente caracterizados ante diferentes escenarios relacionados con la disponibilidad, calidad y precio del agua de riego, así como de cualquier otra variable de carácter económico que pueda modificar la renta esperada por los agricultores. El siguiente paso dentro del módulo agroeconómico que lidera este grupo de investigación, es contrastar esta herramienta en los otros dos casos de estudio (Iaat Baalbeck-Hermel en Líbano y Azrag Basin-Zarqa en Jordania).

Como se ha comentado en el epígrafe introductorio, el objetivo del proyecto Gotham es proporcionar una herramienta de gestión (Gtool) válida para ser manejada por el usuario final, por ello, todos los resultados mostrados en esta comunicación deben ser integrados en los restantes módulos del proyecto. La agregación de los resultados obtenidos en cada uno de los ocho módulos programados permitirá diseñar esta herramienta innovadora de gobernanza de aguas subterráneas.

8. BIBLIOGRAFIA

1. Cramer, W.; Guiot, J.; Fader, M.; Garrabou, J.; Gattuso, J.-P.; Iglesias, A.; Lange, M.A.; Lionello, P.; Llasat, M.C.; Paz, S., et al. Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change* **2018**, *8*, 972-980. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>.
2. Milano, M.; Ruelland, D.; Fernandez, S.; Dezetter, A.; Fabre, J.; Servat, E.; Fritsch, J.-M.; Ardoin-Bardin, S.; Thivet, G. Current state of Mediterranean water resources and future trends under climatic and anthropogenic changes. *Hydrological Sciences Journal* **2013**, *58*, 498-518.
3. Malek, Ž.; Verburg, P.H.; R Geijzendorffer, I.; Bondeau, A.; Cramer, W. Global change effects on land management in the Mediterranean region. *Global Environmental Change* **2018**, *50*, 238-254. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.04.007>.

4. Observatorio de Precios y Mercados. Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía. Consejería de Agricultura, P.y.D.R.J.d.A. Caracterización de los invernaderos de Andalucía. **2015**.
5. Observatorio de Precios y Mercados. Consejería de Agricultura, P.y.D.R.J.d.A. Costes de producción por producto. Hortícolas protegidas. **Campaña 2018/19**.
6. Valera, D.L.; Belmonte, L.; Molina, A.; López, A. Los invernaderos de Almería, análisis de su tecnología y rentabilidad. *memorias I seminario técnico agronómico. Universidad de Almería. CAJAMAR. Almería, España 2014*.
7. Observatorio de Precios y Mercados. Consejería de Agricultura, P.y.D.R.J.d.A. Datos básicos del producto. Hortícolas protegidas.
8. EEFC. Dosis de riego para los cultivos hortícolas bajo invernadero en Almería. **2009**.
9. Fernández, M.; González, A.; Carreño, J.; Perez, C.; Bonachela, S. Analysis of on-farm irrigation performance in Mediterranean greenhouses. *Agricultural water management* **2007**, 89, 251-260.
10. de Andalucía, J. Cartografía de Invernaderos en Almería, Granada y Málaga. Año 2017. *Report prepared by the Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Seville, Spain.[online] URL 2017*.
11. Observatorio de Precios y Mercados. Consejería de Agricultura, P.y.D.R.J.d.A. Precio percibido por el agricultor. Hortícolas protegidas.
12. Maas, E.V.; Hoffman, G.J. Crop salt tolerance—current assessment. *Journal of the irrigation and drainage division* **1977**, 103, 115-134.
13. Montilla-López, N.; Gutiérrez-Martín, C.; Gómez-Limón, J. Impacto de la tarificación del agua de riego en el Bajo Guadalquivir. *ITEA. Información Técnica Económica Agraria* **2017**, 113, 90-111.
14. Norton, R.D.; Hazell, P.B. *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*; Macmillan: 1986.
15. Howitt, R.E. Positive mathematical programming. *American journal of agricultural economics* **1995**, 77, 329-342.