

REGADÍO Y CAMBIO CLIMÁTICO: MEDIDAS DE ADAPTACIÓN Y SEGUIMIENTO MEDIANTE INDICADORES (Documento Resumen)



Autores: Antoni Palau¹ y Pilar Mallol¹

Cartografía: Montse Guerrero² y Josep Ramon Módol²

Colaboradores: David Sánchez¹ y Rafel Rocaspana³

Apoyo técnico: Antoni Soliva⁴ y Yolanda Gimeno⁵

Lleida, Marzo de 2019

(1) Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Universidad de Lleida. (2) Servicio científico-técnico de Cartografía y SIG. Universidad de Lleida. (3) Gesna, Estudis Ambientals, SL. (4) Servicios Técnicos de la Comunidad General de Regantes de los Canales de Urgell. (5) Servicios Técnicos de la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón.

ÍNDICE

RESUMEN, 3

1. INTRODUCCIÓN, 4

2. OBJETIVOS, 4

3. RESULTADOS, 5

3.1. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA DE REGADÍO, 5

3.2. ALGUNAS EXTERNALIDADES AMBIENTALES DE LA AGRICULTURA DE REGADÍO, 7

3.2.1. Regadío y biodiversidad, 7

3.2.2. Regadío y conservación de suelos, 7

3.2.3. Regadío y carbono: capacidad de fijación y almacenamiento, 7

3.2.4. Regadío y actividades económicas básicas, 8

3.3. BALANCE DE EXTRANALIDADES AMBIENTALES DEL REGADÍO, 8

3.4. EL REGADÍO Y LOS SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS, 10

3.5. CAMBIOS EN LA SUPERFICIE DE REGADÍO, 11

3.6. VARIABLES CLIMÁTICAS Y VARIABLES AGRÍCOLAS DE REGADÍO: RELACIONES, 12

3.7. TIPOS DE CULTIVOS Y SISTEMAS DE REGADÍO, 14

3.8. POSIBLES INDICADORES DE ADAPTACIÓN DEL REGADÍO AL CAMBIO CLIMÁTICO, 15

4. CONCLUSIONES, 18

REGADÍO Y CAMBIO CLIMÁTICO: MEDIDAS DE ADAPTACIÓN Y SEGUIMIENTO MEDIANTE INDICADORES¹ (Documento Resumen)

RESUMEN

La agricultura de regadío es una actividad clave en el escenario del cambio climático. Ha experimentado un crecimiento notable en superficie, desde los años 90, con una creciente eficiencia en el uso del agua para riego, mediante la modernización de los regadíos, que ya supera el 80%. Esta mejora en el uso del agua lleva asociada un mayor consumo de energía, razón por la cual hoy y en el futuro deberá focalizarse tal consumo en el uso de energías renovables.

El proyecto se ha centrado en valorar el escenario de cambio climático en la Cuenca del Ebro en general y en dos grandes áreas regables, en particular: La Comunidad General de Regantes de los Canales de Urgell (Lleida; CGRCU) y la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón (Huesca; CGRAA).

A partir del análisis de la variación temporal de los registros disponibles de temperaturas atmosféricas y precipitación, se han apreciado tendencias coherentes con las predicciones del cambio climático, aunque de muy baja significación. No se ha encontrado, por el contrario, una correlación causal clara entre el cambio climático (temperatura y precipitación) y los consumos de agua en las áreas regables. Existen diferencias importantes en las dotaciones de riego de las dos áreas regables piloto (5.908,7 m³/h/año en la CGRAA y 7.909,7 m³/ha/año en la CGRCU) y también en los rendimientos (21,0 t/ha/año en la CGRAA y 29,1 t/ha/año en la CGRCU) que se explican por las diferencias en los sistemas de riego y los cultivos.

Entre las externalidades de la agricultura de regadío más relevantes y quizás poco reconocidas que se han cuantificado en las dos áreas regables, está la capacidad absoluta de fijación de carbono (348.373 - 563.311 Mg C/año) y de almacenamiento de carbono (133.212 - 248.636 Mg C/año). Cabe destacar también la notable preservación de umbrales de biodiversidad en las áreas regables (valores medios de 107-109 especies/100 km²), todo ello al margen del Servicio Ecosistémico de producción de alimento que generan las dos áreas regables estudiadas, que se sitúa en el entorno de 20-30 t/ha.año).

En el presente proyecto se han desarrollado y aplicado 6 indicadores compuestos de elaboración propia que pueden ser un apoyo de interés para objetivar la toma de decisiones a escala regional-local, sobre distintos escenarios de regadío y el análisis de las condiciones de progreso de las medidas de adaptación al cambio climático.

¹ Proyecto realizado en el marco de la convocatoria de concesión de ayudas de la Fundación Biodiversidad, en régimen de concurrencia competitiva, para la realización de proyectos en materia de adaptación al cambio climático 2016.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura de regadío es una actividad clave en el escenario del cambio climático. El presente proyecto pretende contribuir a la evaluación de los efectos del cambio climático en el regadío y la respuesta adaptativa del sector, aportando información de base, para impulsar posibles acciones en materia de medidas de mitigación y adaptación de la agricultura de regadío al cambio climático, así como para evaluar las tendencias temporales de estas acciones o medidas, a medio y largo plazo.

La agricultura de regadío tiene como retos y vías preferentes de adaptación al cambio climático, la gestión de la disponibilidad y garantía de agua, el binomio agua-energía, el manejo de la fenología de los cultivos y los cambios en la distribución, variedad y las prácticas agrícolas, toda vez que debe contribuir a conservar los suelos, la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, en el marco de un uso racional y sostenible de los recursos naturales en el entorno rural.

El uso de indicadores de seguimiento para el análisis de las medidas de adaptación al cambio climático, puede contribuir a una más precisa y objetiva evaluación de políticas, programas y proyectos dirigidos a mejoras estructurales y funcionales de los regadíos. Así, el diseño *ad hoc* de indicadores aplicados a evaluar la eficiencia en el uso del agua y los suelos, los rendimientos de los cultivos o la capacidad de fijación y almacenamiento de carbono, pueden ser una herramienta útil para objetivar la toma de decisiones a escala regional-local, sobre distintos escenarios de regadío bajo el cambio climático.

El proyecto se ha desarrollado en la Cuenca del Ebro, en las Comunidades Autónomas de Cataluña y de Aragón (Provincias de Lleida, Huesca y Zaragoza). Como áreas regables piloto han participado dos comunidades de riegos que, en conjunto, están presentes en un total de 116 términos municipales y suponen unas 200.000 ha de superficie de regadío. Se trata de la Comunidad General de Regantes de los Canales de Urgell (CGRCU) con sede en Mollerussa (Lleida) y la Comunidad de Riegos del Alto Aragón (CGRAA) con sede en Huesca (Tabla 1). Estas dos comunidades de riegos han participado en el proyecto como miembros de FEREBRO (Federación de Comunidades de Regantes de la Cuenca del Ebro) que ha actuado como socio colaborador.

Tabla 1. Características generales de las dos áreas regables piloto.

	CGRCU	CGRAA
Superficie de regadío	69.100 ha	130.300 ha
Volumen de agua gestionado	630 hm ³ /año	960 hm ³ /año
Superficie de regadío en Red Natura 2000	968 ha	1.184 ha

2. OBJETIVOS

El objetivo general planteado para el proyecto ha sido la evaluación de impactos, el análisis de vulnerabilidad y las opciones de la agricultura de regadío frente al cambio climático. Como objetivos específicos se establecieron los cinco siguientes:

- Revisión de los efectos del cambio climático sobre la agricultura de regadío.
- Balance de externalidades ambientales (positivas y negativas) de la agricultura de regadío en materia de agua, energía, biodiversidad, conservación de suelos, captura de CO₂, fijación de población en el territorio y producción de alimento.

- Evaluación de los servicios ambientales de la agricultura de regadío en el ámbito de las dos áreas regables piloto pertenecientes a la cuenca del Ebro (CGRCU y CGRAA).
- Análisis temporal (últimos 20 años) de la adaptación de la agricultura de regadío al cambio climático, en las dos áreas regables piloto.
- Generación de indicadores *ad hoc* para el seguimiento de la adaptación al cambio climático de la agricultura de regadío.

3. RESULTADOS

3.1. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA DE REGADÍO

Tras analizar las estrategias y políticas de adaptación al cambio climático, preferentemente a nivel europeo y estatal, se ha contextualizado la manifestación del cambio climático, discutiendo sus previsiones de efectos meteorológicos, explorando y contrastando cuando ha sido posible (e.g. eventos meteorológicos extremos) sus incertidumbres. A partir de la revisión bibliográfica realizada se ha elaborado una matriz genérica, para la evaluación cuantificada de los efectos del cambio climático sobre la agricultura de regadío, resultando como principales impactos los siguientes:

- A nivel de planta (cultivo): afectación a la fenología de las especies cultivadas y a la prevalencia de plagas.
- A nivel de parcela: afectación al balance hídrico y los rendimientos de las cosechas.
- A nivel (escala) de territorio: afectación a las reservas de agua y la conservación del medio rural.

El análisis de vulnerabilidad frente al cambio climático consultado (ESPON, 2013)² para las dos áreas regables piloto (CGRCU y CGRAA) apunta a una vulnerabilidad general ligeramente mayor para los regadíos del área de Lleida, aunque sin grandes diferencias con respecto a los de Huesca.

La lista de criticidades asociadas al cambio climático, identificadas en las dos áreas piloto quedaría definida del siguiente modo:

- Impactos potenciales (en ambas áreas piloto):
 - + Aumento del estrés hídrico.
 - + Merma en la disponibilidad de agua (escorrentía natural) bien sea en términos absolutos o por un aumento de su irregularidad temporal en forma de una mayor frecuencia de eventos meteorológicos extremos.
- Vulnerabilidades particulares:
 - + Alta relación actual entre demanda agrícola de agua y reserva de embalse en la cuenca del Segre, que aún puede verse más tensionada con nuevos regadíos en marcha, aún sin dotación (concesión) establecida.

² ESPON. 2013. Climate Change and territorial Effects on regions and Local Economies. Applied Research 2013/1/4. Final Report. European Regional Development Fund. (UE). ESPON & IRPUD. Dortmund. 72 pp.

La inherente dependencia del agua por parte de los regadíos, determina que la escorrentía natural y las características biogeográficas de las cuencas tributarias tengan una especial relevancia. Así, los cambios en el tipo de cubierta vegetal (aumento de las masas forestales) se han apuntado en diversos estudios como motivo de reducción de la escorrentía natural. Aunque no todos los estudios consultados coinciden en el nivel de relevancia de tal reducción, parece evidente que el futuro de la agricultura de regadío pasa por su modernización general y por el aumento de la eficiencia en el uso del agua en particular. No obstante, hoy por hoy este último aspecto admite una cierta controversia ya que, si bien los riegos modernizados aumentan la eficiencia en el uso del agua, a menudo lo hacen en base a un mayor consumo de energía (bombeos, presurización, automatización...) que debe tenerse en cuenta en cualquier balance ambiental que pueda plantearse.

En todo caso, no hay que confundir “eficiencia en el uso del agua” con “ahorro de agua”. Todo depende del número de cosechas vinculadas; es decir, se puede utilizar el agua de riego de forma muy eficiente, sin que el consumo disminuya, si el ahorro conseguido se invierte en aumentar el número de cosechas. Por otro lado, el riego de superficie (por inundación), si se lleva a cabo de forma técnicamente correcta, no es en absoluto ineficiente y genera unas condiciones ambientales (erosión, cubierta herbácea, biodiversidad, contenido de materia orgánica en el suelo...) bien distintas a las de los riegos modernizados. Parece evidente que el futuro del regadío deberá ir hacia el paradigma de “regar mejor, en lugar de regar más”, sea cual sea el sistema de riego adoptado.

Las dos comunidades de regantes piloto seleccionadas para el proyecto, son representativas de dos estrategias de riego contrapuestas como consecuencia del tipo de cultivos dominantes y las concesiones de agua e infraestructuras de captación y transporte de agua disponibles.

En términos aproximados, la CGRAA riega el 90% de su superficie con riegos presurizados y el 10% restante con riegos por inundación; mientras que, en la CGRCU, la situación es la inversa: un 10% de la superficie se atiende mediante riegos presurizados y el 90% restante con riego por inundación. La demanda (agua gestionada por cada comunidad de riegos) es mayor en la CGRAA (960 hm³/año frente a 630 hm³/año en la CGRCU), en consonancia con su también mayor superficie regable. La CGRAA tiene una dotación media de riego de 5.908,7 m³/ha/año, siendo sus principales cultivos los cereales, el maíz y la alfalfa, en proporciones similares (entre un 25 y un 30%); en menor extensión se registran los frutales (en torno al 7%) y el arroz (5%). Otros cultivos presentes son la viña, el olivo y los frutos secos.

El rendimiento anual medio, de acuerdo a la distribución de cultivos de regadío de la CGRAA, se ha estimado en 21,0 t/ha/año y el consumo de energía se cifra en 49,5 GWh/año. Por su parte en la CGRCU la dotación media anual es de 7.909,7 m³/ha/año, siendo sus principales cultivos la alfalfa (36%), el maíz (22%), el frutal (19%) y el cereal (18%), con el resto de otros cultivos ocupando una superficie media del 4%. El rendimiento anual es de 29,1 t/ha/año y no utiliza energía en la distribución del agua, por lo que no registra ningún consumo.

La diferencia en los rendimientos se explica por la distribución de los cultivos. En la CGRCU la proporción de alfalfa es superior a la de la CGRAA, siendo este un cultivo con un rendimiento muy alto. Por otra parte, en la CGRCU la proporción de cereales es más baja, cultivo este con un rendimiento de grano notablemente inferior al resto.

3.2. ALGUNAS EXTERNALIDADES AMBIENTALES DE LA AGRICULTURA DE REGADÍO

3.2.1. Regadío y biodiversidad

A los efectos del presente estudio, la relación entre regadío y biodiversidad se aborda bajo el formato de los espectros espaciales de biodiversidad; es decir, el análisis de la variación de la biodiversidad en el espacio (territorio) asociado al regadío.

El valor medio ponderado, representativo de la biodiversidad en el área regable de la CGRCU es de 107,2 especies/100 Km², muy similar al obtenido para la CGRAA (109,5 especies/100 Km²). Ambos valores son indicativos de que la biodiversidad presente en las dos áreas regables es notable, si se tiene en cuenta que el umbral de alta biodiversidad se situaría en torno a las 140 especies/100 Km². El espectro de biodiversidad de las dos áreas regables piloto, puede expresarse en los siguientes términos:

- CGRAA: 109,5 especies/100km²:
 - + 21,1% de la superficie regable con >140 especies/100Km²
 - + 25,2% de la superficie regable entre 110 y 140 especies/100 Km²
 - + 43,0% de la superficie regable entre 80 y 110 especies/100 Km²
 - + 10,7% de la superficie regable con <80 especies/100 Km²
- CGRCU: 107,2 especies/100km²
 - + 9,0% de la superficie regable con >140 especies/100Km²
 - + 23,0% de la superficie regable entre 110 y 140 especies/100 Km²
 - + 68,0% de la superficie regable entre 80 y 110 especies/100 Km²

3.2.2. Regadío y conservación de suelos

Con respecto a la erosión, en el Mapa de Estados Erosivos de España se observa que las dos áreas regables albergan una muy alta proporción de territorio con un riesgo de erosión potencial bajo (0-5 t/ha/año). El 83% del área regable de la CGRCU y el 53% de la de la CGRAA, se encuentran dentro de dicha categoría. Esta diferencia se explica por la distinta orografía de las dos áreas regables, mucho más llana la perteneciente a la CGRCU.

3.2.3. Regadío y carbono: capacidad de fijación y almacenamiento

La agricultura, como cualquier otra actividad biológica en la Tierra, genera gases de efecto invernadero, en concreto: CO₂ (respiración, descomposición aeróbica de materia orgánica), N₂O (manejo de suelos y fertilización, desnitrificación) y CH₄ (descomposición anaeróbica de la materia orgánica). Por su parte, el proceso de fijación de CO₂ en los cultivos sigue vías fisiológicas y metabólicas distintas según el tipo de planta (C3, C4 o CAM), con consecuencias de interés frente al cambio climático, por ejemplo, en la eficiencia diferencial de uso del agua que presentan estos tres tipos de plantas.

La captura bruta de CO₂ efectivamente realizada por los cultivos alimentarios, medida por la cosecha, subproductos y residuos orgánicos generados, es muy variable en función de las condiciones agroclimáticas y las técnicas de producción. La adecuada gestión de subproductos y rastrojos, conduce en todos los casos a un almacenamiento neto positivo de CO₂ y, una vez deducido el CO₂ desprendido en la realización del cultivo (labores y operaciones culturales, fabricación de abonos y fitosanitarios, producción de semillas, etc.), los cultivos alimentarios se comportan como auténticos sumideros de CO₂, especialmente el maíz que produce gran cantidad de biomasa altamente celulósica.

A partir de las fuentes de información consultadas, se ha establecido la tasa de fijación y la capacidad de almacenamiento de carbono, para los distintos tipos de cultivos existentes en las dos áreas regables piloto. La capacidad total de fijación y almacenamiento de carbono obtenida en las en las dos áreas regables piloto ha sido la siguiente:

- CGRAA: 563.311 Mg C/año (fijación neta) y 133.212 Mg C /año (almacenamiento).
- CGRCU: 348.373 Mg C/año (fijación neta) y 248.636 Mg C /año (almacenamiento).

La tasa media ponderada de fijación de carbono en el área regable del Alto Aragón es de 4,5 Mg C/ha/año y en los riegos de los Canales de Urgell de 5,1 Mg C/ha/año. Por su parte, la tasa media ponderada de almacenamiento de carbono en el área regable del Alto Aragón es de 1,1 de Mg C/ha/año y en los riegos de los Canales de Urgell de 3,6 Mg C/ha/año.

Cabe indicar que para obtener estos valores medios ponderados se han tenido en cuenta solo las superficies de cultivo. La diferencia entre los resultados de fijación y almacenamiento de carbono para las dos comunidades de riegos es debida al distinto porcentaje en superficie de cultivo de cereal, que ocupa más extensión en los Riegos del Alto Aragón y tiene tasas de fijación y almacenamiento menores que la alfalfa y el maíz, porcentualmente más representados en el área regable de los Canales de Urgell.

Teniendo en cuenta los datos de fijación de carbono en las áreas regables, para realizar su balance input-output de carbono para los tipos básicos de cultivo, se ha calculado su huella de carbono mediante la calculadora (versión 8) desarrollada por la Oficina Española de Cambio Climático. Si bien los cálculos solo pueden valorarse como una aproximación por las diferentes limitaciones y condicionantes de cálculo, los resultados del balance son todos ellos positivos (Input > Output), de un orden de magnitud similar (3-8 Mg C/ha/año) en las dos áreas piloto del presente estudio y ciertamente relevantes en cuanto a poner de manifiesto el efecto sumidero de los cultivos agrícolas de regadío básicos.

3.2.4. Regadío y actividad socioeconómica básica

Dentro de las externalidades socioeconómicas básicas del regadío está la fijación territorial de población y la producción de alimento. La CGRAA comprende un área de más de 5.070 Km² con 57 municipios, 53 de Huesca y 4 de Zaragoza, con una población de 140.598 habitantes y una densidad media de población en es de 18,75 hab/Km² (en 2011). La cosecha media anual en la CGRAA, para el total del área regable, es de 2.515.084 t de productos agrícolas para consumo humano y alimentación animal.

La CGRCU incluye en su área regable 58 municipios de Lleida, con 263.882 habitantes y una densidad media de 112,5 habitantes/Km². La producción media anual de esta área regable es de 2.035.371 t.

3.3. BALANCE DE EXTERNALIDADES AMBIENTALES DEL REGADÍO

Para el balance global de externalidades de las dos áreas piloto se ha utilizado una única unidad de expresión, con el fin de maximizar la comparabilidad de los resultados y poder llevar a cabo un balance cuantitativamente operable y operativo. La unidad de comparación común adoptada es el agua utilizada (real) o utilizable (aproximación, en caso de falta de datos) para soportar las externalidades negativas y positivas intervinientes en el balance. De acuerdo con los aspectos valorados en el estudio, las

externalidades consideradas han sido las siguientes:

- Externalidades negativas:
 - + Demanda de agua para regadío: hm³/año suministrados y usados para el riego.
 - + Consumo de energía para regadío: hm³/año necesarios para abastecer el consumo de energía (KWh/año) empleado en el sistema de regadío, suponiendo un abastecimiento 100% hidroeléctrico y un salto medio.
 - + Volumen de agua evaporado en los embalses: hm³/año (estimación a partir de datos empíricos disponibles).
 - + Volumen de agua sustraído de los ecosistemas naturales con afectación significativa teórica sobre su composición, estructura y funcionamiento: hm³/año por encima de 1/4 de la escorrentía superficial de los embalses reguladores del suministro de agua para regadío.

- Externalidades positivas:
 - + Población territorialmente fijada por el regadío: hm³ agua/año utilizados por la población residente en las dos áreas piloto, cuya actividad económica depende directa o indirectamente del sector agrícola de regadío.
 - + Fijación neta de CO₂: hm³ agua/año evapotranspirados por los cultivos de regadío para la fijación y almacenamiento netos de CO₂ conseguidos.
 - + Producción de alimento humano (agrícola y ganadero): hm³ agua/año exportados con la producción agrícola y ganadera (agua virtual).
 - + Volumen de agua que se deriva para riegos, pero no se utiliza como tal y que circula por el área regable o fuera de ella, como retornos de riego o caudales finales de canales y acequias de riego, contribuyendo a la generación de actividad biológica y paisaje a escala territorial: hm³/año.
 - + Producción de energía para uso propio o exportación: hm³ agua/año necesarios para la producción de energía generada (KWh/año), que se evita derivar de una masa o curso de agua natural.

El balance global de externalidades ambientales de las dos áreas piloto es el siguiente:

Área piloto	Suma externalidades negativas (hm ³ /año)	Suma externalidades positivas (hm ³ /año)	Balance (hm ³ /año)	Balance (m ³ /ha/año)
CGRAA	1.758,4	1.116,7	-641,7	4.924,8
CGRCU	874,1	609,0	-265,1	3.836,5

Estos resultados, aunque no puede valorarse en términos absolutos por los supuestos y simplificaciones de cálculo adoptadas, tienen interés comparativo entre las dos áreas regables y, en todo caso, es una estimación del efecto ambiental residual de la actividad de regadío, expresada en términos hídricos. Tanto en valores absolutos como transformados por unidad de superficie de regadío, se obtiene que la CGRCU presenta un impacto hídrico residual más bajo, a pesar de que utiliza muy mayoritariamente el riego por inundación, frente al caso de la CGRAA que adopta el riego a presión como sistema mayoritario. La explicación está en el volumen de agua utilizado para producir la energía necesaria para el riego a presión en esta última área regable. Si se considera que dicho volumen se usa pero no se consume, entonces los resultados del balance quedarían del siguiente modo:

Área piloto	Suma externalidades negativas (hm ³ /año)	Suma externalidades positivas (hm ³ /año)	Balance (hm ³ /año)	Balance (m ³ /ha/año)
CGRAA	1.300,1	1.116,7	-183,4	1.407,5
CGRCU	874,1	609,0	-265,1	3.836,5

3.4. EL REGADÍO Y LOS SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS

La acción 5 de la Estrategia 2020 de la Unión Europea indica que los ecosistemas sustentan todas las actividades y la vida de los seres humanos. Los bienes y servicios que proporcionan son vitales para el bienestar y el desarrollo social y económico actual y futuro.

La agricultura y los servicios de los ecosistemas presentan una relación particular. Ciertamente la agricultura ha afectado de forma radical al funcionamiento de los ecosistemas en todos aquellos territorios donde se ha implantado, generando afectaciones ambientales importantes y bien conocidas, pero cabe contemplar también la función de intermediación de la agricultura entre los ecosistemas naturales y la sociedad, en base a utilizar y aprovechar los servicios de los ecosistemas, amplificándolos para el beneficio de la sociedad, por diferentes vías:

- **Servicios de abastecimiento:** Aunque hasta la fecha, no existe consenso para evaluar la producción agrícola como un servicio ecosistémico, lo cierto es que la agricultura es la principal actividad humana de producción de alimentos. La agricultura también proporciona materias primas tales como biocombustibles, fibras vegetales... Y buena parte de las infraestructuras de riego (presas, embalses y canales) proporcionan abastecimiento de agua urbana e industrial.
- **Servicios de regulación:** La agricultura puede contribuir a la generación de suelo fértil, a su mantenimiento orgánico, al control de la erosión, a la conservación y mejora de la calidad del aire, a la regulación del clima (fijación y almacenamiento de carbono) y, mediante sus infraestructuras (presas, embalses y canales) a la laminación de avenidas y a la mejora de las garantías de suministro de agua. La agricultura depende y a la vez estimula el servicio ecosistémico de la polinización.
- **Servicios culturales:** Se trata de beneficios no materiales que las personas pueden obtener en contacto con los agro-ecosistemas, tales como conocimientos científicos, identidad cultural, espacios de ocio y turismo rural, usos artísticos perceptuales diversos,...

La evaluación de los servicios de los agro-ecosistemas de regadío se ha planteado comparando los que estos proporcionan en la situación actual respecto a un escenario de referencia, definido a partir del territorio de las áreas regables cubierto de su vegetación potencial y sin los regadíos. El resultado es el siguiente:

	CGRAA		CGRCU	
	Referencia	Actual	Referencia	Actual
Servicios de aprovisionamiento				
Producción de alimento (t)	443.379	2.515.084	173.939	2.035.372
Suministro de Agua:				
- Demanda ganadera (hm ³ /año)	---	5,68	---	6,94
- Demanda urbana (hm ³ /año)	---	17,26	---	15,71
- Demanda industrial (hm ³ /año)	---	2,26	---	2,41
- Agua virtual (hm ³ /año)	0,29	1,64	0,12	1,41
Servicios de regulación y mantenimiento				
Retención del suelo (adimensional)	0,0497	0,0878	0,0064	0,0848
Regulación Agua (hm ³ disponibles)	4.149,3	5.267,7	5.109,4	5.570,1
Capacidad regulación agua (años)	0,037	0,316	0,449	0,580

	CGRAA		CGRCU	
	Referencia	Actual	Referencia	Actual
Polinización:				
- Índice polinización en primavera	0,051	0,102	0,074	0,135
- Índice polinización en verano	0,041	0,071	0,069	0,074
- Índice polinizadores silvestres	0,125	0,087	0,150	0,165
Fijación de carbono (Mg C/año)	357.679	563.311	144.684	348.373
Servicios culturales, turísticos, sociales, deportivos,... en las áreas regables				
- Nº plazas camping	---	1.037	---	1.026
- Nº plazas de turismo rural	---	392	---	501

De acuerdo con los datos tabulados, la amplificación (variación) de los servicios de los ecosistemas en las dos áreas regables piloto por comparación de un escenario de referencia con la cubierta vegetal potencial y la situación de cubierta vegetal actual es la siguiente:

- Para la CGRAA:
 - + Aproveccionamiento de alimento: incremento en 2.071.705 t/año.
 - + Abastecimientos de agua: incremento en 26,5 hm³/año.
 - + Regulación:
 - Retención de suelo: decremento en 0,038 (valor adimensional calculado para el producto de los factores P y C de la RUSLE).
 - Agua (volumen disponible): 1.133,8 hm³/año.
 - Capacidad de regulación de recursos hídricos: incremento en 0,518 años.
 - Polinización:
 - Índice de abundancia de polinizadores (primavera + verano): incremento en 0,081.
 - Índice de rendimiento por polinizadores silvestres: decremento en 0,038.
 - Fijación de carbono: 205.632 Mg C/año.
- Para la CGRCU:
 - + Aproveccionamiento de alimento: incremento en 1.861.433 t/año.
 - + Abastecimientos de agua: incremento en 26,3 hm³/año.
 - + Regulación:
 - Retención de suelo: decremento en 0,078 (valor adimensional calculado para el producto de los factores P y C de la RUSLE).
 - Agua (volumen disponible): 513,1 hm³/año (considerando sólo la cuenca del Segre).
 - Capacidad de regulación de recursos hídricos: incremento en 0,184 años (considerando sólo la cuenca del Segre).
 - Polinización:
 - Índice de abundancia de polinizadores (primavera + verano): incremento en 0,066.
 - Índice de rendimiento por polinizadores silvestres: incremento en 0,015.
 - Fijación de carbono: 203.689 Mg C/año.

3.5. CAMBIOS EN LA SUPERFICIE DE REGADÍO

Con respecto a los cambios en la superficie de cultivo en regadío, en la cuenca del Ebro, según la evaluación realizada en 2014, era de 900.623 ha. El Plan hidrológico 2016-2021 reconoce un total de 965.698 ha. El valor de la superficie de regadío en 2012 según

CORINE Land Cover³, era de 854.423 ha, mientras que el catastro en 2013 indicó las 900.623 ha recogidas en 2014, por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Al margen de la variabilidad de las cifras, según la fuente consultada, la tendencia observable es un incremento progresivo, desde algo más de 600.000 ha en 1977 hasta las 900.000 ha catastrales actuales, lo que supone un aumento del 33% en 36 años. La mayor conversión a regadío se produjo en la década de 1990 a 2000, con un aumento de casi 160.000 ha.

En el caso de la CGRCU la superficie total de riego censada en el año 2017 ha sido de 68.517 ha y no ha sufrido variaciones importantes en la última década. La CGRAA es el mayor sistema de regadío de España y de la Unión Europea. Ha experimentado un claro crecimiento de superficie regable hasta las más de 130.000 ha actuales y está ya aprobada una importante ampliación.

Según el informe de EEA (2017)⁴, el aumento en la duración del periodo de crecimiento térmico, ha llevado a una expansión hacia el norte de las áreas adecuadas para varios cultivos. Este extremo se ha intentado comprobar en el presente estudio, tal y como se expone más adelante.

3.6. VARIABLES CLIMÁTICAS Y VARIABLES AGRÍCOLAS DE REGADÍO: RELACIONES

El análisis de variables meteorológicas como base para valorar relaciones causa-efecto entre el cambio climático y los regadíos, se ha centrado en la temperatura atmosférica y la precipitación. Ambas variables muestran unas ligeras tendencias de cambio (las temperaturas al alza y las precipitaciones a la baja si se utilizan ajustes lineales) para la serie de 1941 a 2005, que estarían de acuerdo con lo que se predice en relación al cambio climático, pero con una significación muy débil ($R^2 \leq 0.0105$ para la temperatura y $R^2 \leq 0,0535$ para la precipitación).

Las tendencias de variación de temperatura y precipitación no han afectado, no obstante, a la evolución de la superficie de los regadíos de las dos áreas regables. A pesar de aumentar muy ligeramente las temperaturas medias anuales y disminuir algo la precipitación y las aportaciones anuales, la superficie de los regadíos ha aumentado notablemente desde 1990, especialmente en la CGRAA. En la CGRCU no se han producido cambios notables.

En cuanto a las posibles relaciones entre variables climáticas y variables agrícolas, la única que se ha podido establecer, aunque con una muy baja significación ($r = 0,5514$; $p > 0,1$), es que el consumo de agua para riego tiende a aumentar con la temperatura atmosférica, siempre que no haya una situación de prealerta o alerta de sequía. La relación entre el consumo de agua y la pluviometría no se ha podido contrastar con datos en parcela en el caso del área regable de los Canales de Urgell, y da resultados contradictorios en Riegos del Alto Aragón. La determinación de las relaciones entre producción y temperatura no se ha podido realizar por no tener datos correspondientes a la misma serie de años.

El análisis con la pluviometría media referida exclusivamente a la campaña de riego (y no al conjunto del año, como es el caso de los datos disponibles) probablemente aportaría

³ Corine Land Cover. Mapa de ocupación del suelo en España. 1:100.000. Instituto Geográfico Nacional. <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

⁴ EEA, 2017. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report. European Environmental Agency. 424 pp. (DOI: 10.2800/534806).

mayor claridad y precisión a los resultados, aunque debería analizarse para cada uno de los cultivos, puesto que su demanda, además de ser sustancialmente distinta, se produce en diferentes momentos del año. Este nivel de estudio detallado requeriría, además, de balances a nivel de las colectividades que conforman las áreas regables de cada Comunidad General de Riegos (CGRAA y CGRCU), dado que pueden seguir criterios de gestión del agua bien distintos.

Las previsiones de efectos del cambio climático se expresan también en un aumento de la intensidad y la frecuencia de los acontecimientos meteorológicos extremos. Según el informe de EEA (2017), en Europa se han registrado ya algunos veranos con olas de intenso calor desde 2003, que han generado muertes entre la población y graves impactos económicos. La proyección es que se puedan dar olas de calor cada 2 años durante la segunda mitad del siglo XXI, especialmente en la región Mediterránea. Y lo mismo es de aplicación para los eventos pluviométricos extremos (lluvias y sequías) que tenderán a aumentar su frecuencia y duración. La OECC (2012)⁵ elaboró un informe sobre las evidencias del cambio climático y sus efectos en España sobre el sector agrario, entre otros. En el mismo informe se indica afectaciones por olas de calor, como la de 2003 que causó unas importantes pérdidas económicas, además de déficits de suministro de algunos cultivos (forrajes, hortalizas,...) y por otros eventos meteorológicos extremos (inundaciones, tormentas,...), como causas con un fuerte impacto económico sobre la agricultura.

El principal fenómeno meteorológico extremo relacionado con los recursos hídricos es la sequía. En la Cuenca del Ebro existe un registro de sequías con una catalogación de su intensidad y por tanto de su afectación. Entre 1940 y 2017, con pequeñas variaciones en función del criterio escogido, se han contabilizado entre 13 y 15 situaciones de sequía, de distinta duración (entre 1 y 3 años) y de intensidad variable siendo del orden del 78% moderadas y el 22% severas. Para las dos zonas regables piloto, cabe citar el año hidrológico 2007/08 que fue extremadamente seco hasta abril-mayo de 2008, afectando a la margen izquierda de la cuenca del Ebro, con fuertes restricciones a los regadíos y problemas de suministro del abastecimiento de Huesca. La sequía de 2011/12 afectó también principalmente a la margen izquierda de ríos con origen en los Pirineos y en particular a las cuencas del Aragón, Cinca y Gállego. El año 2011/12 se convirtió en el de menor aportación en desembocadura de toda la serie histórica. Implicó importantes restricciones en los riegos y de suministro en algunos pequeños núcleos.

La compensación de daños a la agricultura por episodios climáticos extremos, se vehicula a través del sistema de Seguros Agrarios Combinados de España creado por la Ley 87/1978 de 28 de diciembre. Este sistema establece una cobertura técnica y financieramente viable que permite al agricultor hacer frente a los daños causados en sus producciones por riesgos climáticos imprevisibles de consecuencias catastróficas. Agroseguro es la entidad encargada de la gestión de los seguros agrarios por cuenta de todas las aseguradoras que operan en este ámbito, agrupadas bajo la fórmula de coaseguro. Esta organización ha ido recopilando mucha información relativa a la siniestralidad; es decir, frecuencia y daños causados por eventos climáticos extremos. El informe de Agroseguro (2015)⁶ presenta los datos, cifras y análisis de la experiencia adquirida desde su inicio (1980) hasta 2014.

⁵ OECC. 2012. Evidencias del cambio climático y sus efectos en España. Oficina Española de Cambio Climático (OECC). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 24 pp.

⁶ Agroseguro. 2015. El sistema español de seguros agrarios en cifras (1980-2014). 160 pp.

Los siniestros agrícolas asegurados se registran en número y en capital asegurado, con las siguientes tipologías: pedrisco, heladas, sequía/asurado/no nascencia, viento, lluvia, mal cuajado/mala floración, inundación, incendio y otros. Un 78,6% de los siniestros agrícolas declarados corresponde solo a tres riesgos: pedrisco, helada y sequía, que han supuesto el 78,4% de las indemnizaciones abonadas a lo largo de toda la serie histórica 1980-2014 en el conjunto de España. Para el caso concreto de las dos comunidades de regantes piloto, Agroseguro ha facilitado, para la elaboración del presente estudio, los registros de eventos de granizo y sequía en las provincias de Huesca, Zaragoza y Lleida, en cultivos de cereales, por ser este del que más información temporal y espacial se dispone y, además, tener un alto grado de representatividad en cuanto a un nivel alto de contratación de seguro. En cuanto a los riesgos, el granizo y la sequía son los que cuentan con una serie histórica más larga y completa; ambos riesgos afectan de forma general y suelen tomarse como referentes en estudios de cambio climático.

Con respecto al pedrisco y los daños sobre los cultivos de cereal, no se observan patrones claros de tendencia temporal ni en superficie afectada ni en daños en el ámbito de las dos áreas regables, entre 1991 y 2017 y la significación de los cambios es nula en general ($R^2 < 0,0054$). La única excepción es el caso de la provincia de Huesca, donde la evolución temporal de los daños por pedrisco muestra una cierta tendencia a la baja, aunque poco significativa ($r = 0,3503$; $p < 0,1$).

Con respecto a la sequía, los daños se dan conjuntamente para la superficie de secano y de regadío y, lógicamente, son siempre mayores en el secano. Si bien se aprecia que los años de daños elevados coinciden con los de sequías extremas, no se observa ninguna tendencia temporal significativa para el periodo de años considerado (1991-2017). Las superficies de secano se ven particularmente afectadas en los años hidrológicos con menores precipitaciones, mientras que los regadíos sufren sequías solo en años de poca precipitación y reservas de embalse reducidas. Así pues, las relaciones causa-efecto entre el daño por sequía y las condiciones que la originan, se debe establecer a partir del registro anual de lluvia en el caso del secano, y de las aportaciones en los embalses y sus reservas en el caso del regadío.

3.7. TIPOS DE CULTIVOS Y SISTEMAS DE REGADÍO

La distribución de los tipos cultivos en las áreas regables ha ido variando en el tiempo y tenía interés para el presente estudio, analizar si los cambios de distribución seguían o no patrones comunes asociables al efecto del cambio climático.

La información recogida de la CGRCU desde 2006 hasta la actualidad muestra que el cultivo que ocupa mayor extensión es la alfalfa, seguido del cereal y el maíz. En el análisis detallado por demarcación se constatan cambios en cuanto a las superficies anuales de cada uno de estos tres cultivos, y suele coincidir el máximo valor de la superficie de alfalfa con el mínimo del cereal, debido a la rotación de estos dos cultivos que se completa con el maíz. Sin embargo, no se ha detectado ninguna tendencia general de aumento o disminución de superficies en los tipos de cultivos.

En la CGRAA, entre 2003 y 2009 aumentó el cultivo del cereal y disminuyó el de alfalfa y maíz. El arroz experimentó un aumento moderado entre 2000 y 2011, con una disminución en 2012. Para poder interpretar con más precisión los resultados sería necesario disponer de más estadísticas anuales de superficies y producciones de los cultivos. No parece, en todo caso, que estos cambios guarden relación con el cambio climático.

Con respecto al análisis de los cambios en los sistemas de regadío, este se realiza en base a los consumos de agua y de energía en las áreas regables gestionadas por la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón (CGRAA) y la Comunidad General de Regantes de los Canales de Urgell (CGRCU), teniendo en cuenta que los sistemas de riego pueden ser generadores y consumidores de energía a la vez.

El consumo de energía eléctrica en los regadíos se produce en los bombeos o para distribuir el agua a presión en redes de riego por aspersión, goteo, etc. El sistema tradicional de riego a pie o de inundación, normalmente no requiere el aporte de energía eléctrica para su funcionamiento. Los cultivos herbáceos de regadío suelen regarse a pie o por aspersión, y los cultivos leñosos como los frutales o fruta seca se riegan habitualmente por goteo en comunidades modernizadas o por inundación en los regadíos tradicionales.

En la CGRAA el aumento neto de superficie desde el 2000 hasta 2016 ha sido de 9.965 ha equivalente a un 8%, sin embargo, el aumento de consumo de agua no ha sido proporcional y se ha conseguido cultivar más superficie con una dotación un 15,5% inferior, lo que se ha traducido en un incremento del consumo total de agua muy reducido, en torno al 0,1 % (1,1 hm³/año, aproximadamente). Este hecho es debido a la modernización de gran parte de las comunidades del área regable que están usando sistemas a presión (aspersión y/o goteo), lo cual ha llevado asociado un consumo medio de energía de 49,5 GWh/año. En la CGRCU cabe destacar que al menos el 5,8% de la superficie se riega con el agua procedente de desagües y pozos del acuífero libre, alimentados de agua de retorno de zonas superiores abastecidas por los canales. En esta área regable, por el sistema de riego dominante (inundación) no hay consumo eléctrico y los pocos sistemas de riego a presión que necesitan energía son a cargo de regantes particulares. La CGRCU es titular de 5 saltos hidroeléctricos instalados en su red de canales, con una potencia instalada de 967 KW.

Tomando como hipótesis a contrastar que la producción agraria depende de la disponibilidad de agua, se ha analizado la relación entre la producción de cosechas y el agua utilizada para el riego, con el resultado de una correlación muy débil ($R^2 = 0,0501$), en parte debida a aspectos coyunturales. Otra relación analizada ha sido entre el volumen de agua utilizada para regar con sistemas de riego a presión y la energía consumida para suministrarla en las parcelas, constatándose en este caso su correlación positiva y significativa ($r = 0,9042$; $p < 0,05$).

3.8. POSIBLES INDICADORES DE ADAPTACIÓN DEL REGADÍO AL CAMBIO CLIMÁTICO

Existen bastantes referencias sobre variables y parámetros de distinta naturaleza, susceptibles de servir como indicadores de adaptación de la agricultura al cambio climático (fenología de cultivos actuales, eficiencia de uso y demanda de agua, cambios en los sistemas de regadío, balances de energía y producción, cambios adaptativos en las prácticas agrícolas, uso de nuevas variedades de especies de cultivo, etc. Estas variables, junto con otras, pueden agruparse en nuevas variables que integren más información. Bajo este planteamiento, el estudio realizado propone 6 posibles nuevos indicadores compuestos para medir la adaptación del regadío al cambio climático, en base a algoritmos sencillos:

- Distribución geográfica (altitudinal y latitudinal) de los cultivos (DGC): Los cambios en la distribución espacial de los tipos de cultivos (desplazamientos altitudinales y latitudinales) se han asociado a los efectos del cambio climático. Este indicador se

basa en calcular el centroide de cada tipo de cultivo y analizar sus desplazamientos geográficos a lo largo de la serie de años considerada, Se entiende por “centroide” el punto geográfico medio de todas las áreas adscritas al mismo tipo de uso agrícola del suelo, estimado cartográficamente mediante GIS.

- **Uso del agua y la energía (UAE):** Con la implantación de medidas de adaptación al cambio climático, es esperable que la demanda absoluta de agua para riego tienda a disminuir por un aumento de la eficiencia en el uso del agua. Simultáneamente, el consumo de energía tenderá a aumentar con la modernización (presurización) de los regadíos, pero debería tender al autoabastecimiento (preferentemente con energías renovables). La situación de máxima eficiencia en el riego, debería traducirse en una menor derivación de agua desde los embalses asociados y por tanto en una relación entre la reserva de agua embalsada y la reserva de agua embalsable, lo más alta posible.
- **Tipos (variedad) de cultivos (TDC):** La diversificación cualitativa (variedad) y espacial (mosaico) de los cultivos de regadío, se interpreta como una medida adaptativa de diversificación de riesgos frente a los efectos del cambio climático. Cuanto mayor sea la diversidad de cultivos en un área regable, menor tenderá a ser el riesgo de daños por el cambio climático. Se trata de medir si se da o no una evolución de las áreas de regadío hacia espacios (cultivares) lo más diversos posible, teniendo en cuenta que esta diversificación tendría unos límites en los requerimientos de superficie cultivada de cada cultivo, suficientes y necesarios para alcanzar rendimientos adecuados.
- **Manejo de cultivos (MDC):** Una parte esencial de la adaptación del regadío al cambio climático, pasa por adecuar el sistema de riegos y el manejo de los cultivos. Sobre los sistemas de riego, la vía es la modernización de los regadíos hacia menores consumos de agua (y mayores requerimientos de energía, preferentemente renovable). En cuanto al manejo de cultivos, la variedad de prácticas agrícolas existente hace imposible su estandarización en un indicador. Se ha optado por adoptar la evolución temporal de la proporción entre cultivos de especies C3 vs cultivos de especies C4, con mayores rendimientos estas últimas en las condiciones previstas de cambio climático.
- **Conservación de suelos y biodiversidad (CSB):** La conservación de los suelos en las áreas de regadío mejora con el uso de sistemas presurizados de riego, dependiendo del cultivo. La conservación de la biodiversidad guarda relación con la variedad de cultivos, dado que esta diversifica el hábitat físico utilizable por especies silvestres compatibles con la actividad agrícola de regadío existente. Dado que el estado de conservación de los suelos y la biodiversidad son variables directamente cuantificables, en el cálculo de este indicador compuesto se utiliza cartografía GIS del estado de conservación de los suelos obtenida a partir del Inventario Nacional de Erosión de Suelos⁷ y de la biodiversidad potencial teórica obtenida de la base de datos del Inventario Español de Especies Terrestres⁸.

⁷ Inventario Nacional de Erosión de Suelos (2002-2012). Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Ministerio para la Transición Ecológica. <http://www.mapama.gob.es/ide/metadatos/srv/spa/metadata.show?id=11664&currTab=simple>

⁸ Inventario Español de Especies Terrestres (10 x 10 Km). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Ministerio para la Transición Ecológica. <http://www.mapama.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/biodiversidad/ieet.aspx>

- Servicios de los ecosistemas (SDE): Tal y como se ha expuesto para el indicador compuesto UAE, con la implantación de medidas de adaptación al cambio climático, debería reducirse la presión sobre los ecosistemas naturales responsables del servicio ambiental de aprovisionamiento de agua y energía (hidroeléctrica).

De estos 6 indicadores compuestos, 3 de ellos no se han podido calcular en parte o en su totalidad, en las dos áreas regables piloto por falta de datos (en cantidad o calidad suficiente), como es el caso de UAE (Uso del Agua y la Energía) para el que no hay coincidencia temporal entre las series temporales disponibles, de las variables de cálculo. Los indicadores compuestos TDC (Tipos de cultivos), MDC (Manejo de Cultivos) y CSB (Conservación de Suelos y Biodiversidad) solo se han podido calcular de forma parcial.

El indicador DGC (Distribución geográfica de los cultivos) se ha podido calcular en las dos áreas regables (y también en el conjunto de la Cuenca del Ebro) utilizando la cartografía CORINE Land Cover disponible para los años 1990, 2000, 2006 y 2012 sobre tres tipos de cultivo: herbáceos, frutales y arroz. Sobre la hipótesis de cambios altitudinales y/o latitudinales en la distribución de los cultivos como respuesta adaptativa al cambio climático, en el presente estudio no se ha podido constatar ningún patrón de desplazamiento común para los tres tipos de cultivos considerados. Entre 1990 y 2012 entre los centroides de los cultivos herbáceos, el 50% ha ganado latitud y el otro 50% la ha perdido; en los frutales y el arroz, la mayoría de centroides han perdido latitud. Con relación a la altitud, en los tres tipos de cultivo los centroides han tendido hacia cotas medias inferiores. A nivel de toda la cuenca del Ebro, el valor del indicador compuesto DGC para los tres tipos de cultivos analizados (herbáceos, frutales y arroz) no muestra tampoco cambios que respondan con claridad a una medida adaptativa al cambio climático. Este indicador se ve muy afectado por los cambios en la superficie de las áreas regables. En la cuenca del Ebro, entre 1990 y 2012, los cultivos herbáceos han aumentado su superficie en un 13,1%; los frutales han disminuido en un 62,1% y el cultivo de arroz ha aumentado su superficie en un 154,1%. Para atenuar esta situación el indicador DGC va acompañado del cálculo de un parámetro que establece la significación de sus resultados.

El indicador TDC (Tipos de cultivos), de acuerdo con los datos disponibles, se ha podido aplicar sólo en la zona de los Canales de Urgell, aunque con una agrupación de cultivos (alfalfa, maíz, cereales, frutales y otros) demasiado grosera, que ha limitado de forma notable la sensibilidad del indicador. Se trata de un indicador sin valores de referencia. Los resultados obtenidos han dado valores bajos y estables, indicativos de fragilidad y amplio margen de mejora en la diversificación de cultivos (variedades), como posible medida de adaptación al cambio climático.

El indicador MDC (Manejo de Cultivos), propuesto para medir cambios en los sistemas de regadío y en proporción de especies más resistentes al cambio climático (C4), los resultados obtenidos también son bajos e indicativos de un amplio margen de mejora en adaptación al cambio climático. La aplicación parcial del indicador CSB (Conservación de Suelos y Biodiversidad), adoptado para medir el estado de conservación de suelos y biodiversidad, también da valores bajos, indicativos de margen de mejora en adaptación al cambio climático.

Finalmente, el indicador SDE (Servicios de los Ecosistemas) y normalizado, muestra resultados distintos en las dos áreas regables piloto. En la CGRAA SDE muestra una tendencia temporal creciente indicativa de una progresión adecuada en términos de conservación y amplificación de los servicios de los ecosistemas; en la CGRCU, la tendencia es plana, pero estable en el rango alto de los valores posibles de SDE. Este indicador no

guarda una relación directa con el cambio climático, pero mide la integración del regadío en su entorno ambiental, lo cual es fundamental en la estrategia de adaptación al cambio climático de los regadíos.

4. CONCLUSIONES

La agricultura de regadío es una actividad clave en el escenario del cambio climático. El presente proyecto aspira a contribuir en la evaluación del efecto del cambio climático en el regadío y de la respuesta adaptativa del sector.

A modo de conclusiones globales finales, cabe indicar que los escenarios de cambio climático se han constatado en la Cuenca del Ebro y las dos áreas regables en cuanto a variación de temperaturas y precipitación, aunque con una muy baja significación en las tendencias de cambio. No se ha encontrado una correlación causal clara entre el cambio climático (temperatura y precipitación) y los consumos de agua en las áreas regables, Tampoco se ha constatado una tendencia clara en la frecuencia y magnitud de daños por eventos meteorológicos o hidrológicos extremos, ni una relación significativas entre variables hidrológicas (consumo de agua) y producción (rendimientos) debido a que el regadío, precisamente, lo que permite es aumentar la independencia de la producción con respecto a la variabilidad climática, siempre que la disponibilidad de agua no sea limitante, lo cual guarda relación las capacidades de las infraestructuras hidráulicas de captación, almacenamiento (embalses, balsas) y transporte (canales, conducciones) de agua, así como con la recurrencia en intensidad de los periodos de sequía.

La agricultura de regadío, una vez analizado su balance de externalidades, presenta un impacto ambiental asumible, en términos de uso del agua. Entre sus externalidades positivas más relevantes y quizás poco reconocidas, está su capacidad de fijación y de almacenamiento de carbono, la notable preservación de umbrales de biodiversidad y la amplificación de algunos de los servicios de los ecosistemas que maneja, en particular la producción de alimento.

La agricultura de regadío ha experimentado un crecimiento notable en superficie, desde los años 90, con una creciente eficiencia en el uso del agua para riego mediante la modernización de los regadíos que supera el 80%, pero que lleva asociada un mayor consumo de energía, razón por la cual hoy y en el futuro deberá focalizarse tal consumo en el uso de energías renovables. En este sentido, entre las dos áreas regables piloto existen diferencias importantes en las dotaciones de riego que se explican por las diferencias en la relación entre riego a presión y riego por inundación, que es muy alta en la Comunidad General de Regantes de Riegos del Alto Aragón permitiéndole unas dotaciones menores que en el caso de la Comunidad General de Regantes de los Canales de Urgell.

La elaboración de indicadores compuestos, que integren indicadores primarios de fácil registro, mediante algoritmos sencillos, es un campo de investigación ciertamente interesante y relevante, que puede permitir, mediante una aplicación y mejora continuadas, disponer de criterios útiles para la toma de decisiones en materia de gestión agro-ambiental de los regadíos y de evaluación de las medidas de adaptación adoptadas. En el presente proyecto se ha desarrollado y aplicado 6 de estos indicadores, con buenos resultados y posibilidades de mejora en estudios futuros, a partir de su aplicación a casuísticas más amplias y variadas, con series de datos temporales más largas. Estos indicadores pueden ser un apoyo de interés para objetivar la toma de decisiones a escala regional-local y sobre distintos escenarios de regadío y, por otro lado, pueden contribuir a

objetivar aspectos vinculados a la evaluación de resultados de las medidas de adaptación, como es el caso del desplazamiento geográfico de cultivos, el uso del agua y la energía, la variedad de cultivos y su manejo, la conservación de suelos y biodiversidad y los servicios de los ecosistemas.

-oOo-