

**CONAMA 2020**

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

# Infraestructuras Naturales Verdes como Alternativa a la Adaptación al Cambio Climático en los Recursos Hídricos





**Autor Principal:** Nicanor Prendes Rubiera (OECC)

**Otros autores:** M<sup>a</sup> Carmen Ángel Martínez (CEDEX\_CEH); Sandra Villacorta Chambí (Charles Darwin University Darwin, Northern Territory 0909 Australia)

## ÍNDICE

### **Contenido**

ÍNDICE.....	1
introducción .....	2
procedimiento metodológico.....	3
Caso de Estudio .....	4
Condicionamientos de Partida .....	8
Análisis territorial. Teledetección .....	10
Conclusión.....	17
Bibliografía .....	18

## INTRODUCCIÓN

Cuando se establecen las estrategias de adaptación al Cambio Climático, por lo general, se parte de unos estudios “*a priori*” en los que, considerados -y aceptados- unos escenarios base, se analizan los recursos y sus fuentes de producción y se elaboran opciones -de eficacia y eficiencia- para hacerlas sostenibles en dichos entornos medioambientales.

Ello obliga a trabajar con incertidumbres, ligadas a la disponibilidad real de los recursos naturales fundamentalmente, y del territorio, como la variabilidad de episodios extremos (sequías, inundaciones, perfiles edáficos,...) y en los que suele contemplarse, como variable compleja añadida, su distribución -no homogénea- tanto en el espacio como en el tiempo.

A esta incertidumbre hay añadir que: *“todo proceso de alteración ambiental también lo es estructural (composición biológica de un ecosistema que aboca en un deterioro, paulatino, funcional) que si bien cuenta con cierta capacidad –inherente- de acomodación (resiliencia) a estas variaciones, e incluso y aunque pueda llegar a recuperar el estado original tras una perturbación, siempre tiene un umbral de agotamiento en el que si se sobrepasa se alcanza el punto de no retorno”*.

De hecho, uno de los tres parámetros más sensibles a este proceso, junto con el suelo y la biodiversidad, es el agua, o recurso hídrico que, por su importancia ambiental, es el condicionante y determinante de la “productividad” zonal y su rentabilidad agrícola.

En las infraestructuras de regadío no suele recurrirse al concepto de “adaptación pasiva” como herramienta para reacondicionar y mejorar el rendimiento hídrico partiendo de un análisis de los recursos energéticos<sup>1</sup> para mantener las producciones de cultivos derivadas, con mínimas modificaciones jurídicas<sup>2</sup>, espaciales<sup>3</sup>, tecnológicas<sup>4</sup> y ambientales<sup>5</sup>, y evitar introducir cambios sustanciales en el área de afección, pero modificando los comportamientos de uso y planificación como la flexibilización de los turnos de riego que favorece la disponibilidad de la demanda de agua de forma continua y sostenida, “eliminando” las exigencias de cada cultivo a los volúmenes disponibles, que se mantienen, o deben mantenerse.

En este sentido el Instituto Tecnológico Agrario de la Junta de Castilla y León, Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural propuso una serie de actuaciones, enmarcadas a potenciar este tipo de “reformas” que, según algunos estudios y en función de determinadas áreas puede llegarse a ahorrar hasta el 35% de los consumos hídricos disponibles, lo que implica un margen significativo de eficiencia y pone en servicio “excedentes hídricos” con los que paliar los efectos, al menos inmediatos, de adaptación al cambio climático, habida cuenta de la probable reducción en el balance hídrico general de este recurso a escala de cuenca hidrográfica, con sus balances de compensación.

---

<sup>1</sup>Para minimizar los GEI's y aumentar la eficiencia energética se integra, en el estudio, el uso de energías renovables, con el consiguiente ahorro energético (evitando horas punta, por ejemplo) y minimizando las emisiones GEI's (CO<sub>2eq</sub>) a la atmósfera.

<sup>2</sup>Una propuesta más racional de “reconcentración” parcelaria como medio instrumental para una reestructuración de la propiedad adecuada a la nueva situación creada por el regadío y sus sistemas de distribución y planificación.

<sup>3</sup>Se contempla añadir varias infraestructuras hidráulicas (balsa de retención, o acumulación), para homogeneizar y garantizar el recurso hídrico, mejorando los sistemas ya existentes de canalizaciones, acequias, red de drenaje, etc...

<sup>4</sup>Modernizar el regadío sustituyendo el riego por gravedad por aspersión, en tuberías con agua a presión, más eficaz y que garantiza una mayor diversificación y variedades de cultivos, que no serían viables si aumentase la demanda de agua.

<sup>5</sup>Proyecto de restauración y reforestación local para paliar, en la medida de lo posible, cualquier impacto no deseado colateral.

## PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

La adaptación al Cambio Climático puede abordarse de forma activa (ejecutando medidas derivadas de las previsiones de los modelos y escenarios asociados para ese ámbito); o pasiva, incidiendo sobre los bienes insumos y actuando en los sistemas ya implantados, lo que se conoce como “Infraestructura Natural” que, en este contexto, se definiría como: “una *red de espacios naturales que preservan los valores y funciones de los ecosistemas, proporcionando servicios ecosistémicos*”.

La característica esencial de esta segunda vía (“*adaptación pasiva*”) parte de una serie de condicionamientos preliminares como garantizar bajos costos en la inversión de actualización (modernización) y en el mantenimiento de los proyectos<sup>6</sup> por una parte, y una mejor optimización del recurso a considerar, por otra (hídrico, en este caso). Asimismo, su factor determinante es la reducción de la vulnerabilidad<sup>7</sup> y exposición del bien insumo y de consumo.

El análisis de estos proyectos se aborda siguiendo los criterios del proyecto del “*The Green Leaf*”<sup>8</sup> que, se ha demostrado en el contexto del agua relacionado con la estrategia local, fortalece la resiliencia frente a las variaciones previstas en los escenarios de cambio climático.

Si bien desde el punto de vista técnico los objetivos son claros, y se pueden abordar a partir de la anterior metodología, han de integrarse en este análisis aspectos relativos a la legislación, tanto en materia ambiental como de impacto de cambio climático<sup>9</sup>, aunque la condicionalidad de la “*adaptación pasiva*” orienta a una regulación de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre<sup>10</sup>, a seguir el procedimiento de Evaluación Ambiental Simplificada, con la consiguiente agilización y facilidad en el desarrollo normativo y procedimental establecido, y que se traduce que para cualquier proyecto de gestión hidráulica en los que exista una infraestructura previa, el desarrollo jurídico quedaría bajo el amparo del Anexo II, Grupo 1, apartado c. 1<sup>11</sup>.

Evidentemente, y una vez ajustado el marco legislativo han de comprobarse las posibles sinergias con otros proyectos adyacentes (módulos de operación); los impactos y afecciones de las figuras jurídicas ambientales vinculadas al área de exposición o afectación territorial (Red Natura 2000; ZEPA’s; LIC’s; ZEC’s, Reservas, etc.,) que tendrán un peso determinante en la viabilidad final del estudio y sus consecuencias, exigiéndose, por ello, la previa elaboración y aprobación de los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN).

---

<sup>6</sup>Un factor de ponderación es la menor huella de carbono posible que pueda lograrse, bien asociada a la maquinaria e instrumentos de ejecución. Esta es la razón de la propuesta de inclusión de las energías renovables para el cambio de regadío.

<sup>7</sup>Se trata de pasar de la “vulnerabilidad a la resiliencia” mediante la comprensión y adaptación a la incertidumbre futura, dando una respuesta eficaz a los peligros y los riesgos asociados al territorio (inundaciones, erosión, etc.,) y la garantizar, con ello, los sistemas de producción a medio y largo plazo, además de mejorar la gobernanza de los recursos. **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

<sup>8</sup>La propuesta se basa en: “*que cualquier cuenca es un sistema de gestión de flujo autoreplicante -tanto geomorfológicamente como de equilibrio energético-*” a reflejo de una hoja en la que el diseño del drenaje define las condiciones de eficiencia de flujo.

<sup>9</sup>Ha de tenerse en cuenta, asimismo, como elemento favorable en la evaluación si el proyecto a evaluar contempla el uso y potenciación de las energías renovables, en cuyo caso se debe considerar la Resolución de 30 de diciembre de 2020, de la DG CyEA, por la que se formula la declaración ambiental estratégica del PNI EC 2021-2030.

<sup>10</sup>Modificación por Ley 9/2018, de 5 de diciembre.

<sup>11</sup>Proyectos de Consolidación y mejora de Regadíos en una superficie superior a 100 Ha. Se subraya, en este sentido, el umbral de la superficie de afección ya que se considera que a partir de él todos los mecanismos de desarrollo son viables.

Con la finalidad de ilustrar el procedimiento metodológico establecido, se eligió un proyecto específico, paradigma de gestión y referencia, asociado a la cuenca del Duero.

## Caso de Estudio

El proyecto es el “*Canal de Riego de Castronuño*” (Valladolid). Obra de ingeniería hidráulica en el curso medio del Río Duero y encaminada, en su momento, a poner en valor tierras para regadío, con una extensión de 392 Ha, dentro de las 440 Ha adscritas al término municipal homónimo, en dicha provincia, de la Comunidad Autónoma de Castilla y León, España.

Esta infraestructura lineal (canal de riego) está vinculada al vaso de la presa de San José<sup>12</sup>, a escasos 2 km de dicha población. Se terminó de construir en 1945, como su central hidroeléctrica<sup>13</sup>, que lleva funcionando desde 1957, si bien hoy día tiene mayor relevancia el uso de regulación de los canales de riego que de ella derivan, entre los que destacaría el de Castronuño y cuya longitud total es de 5,5 km de canal<sup>14</sup>, estando revestido de hormigón.

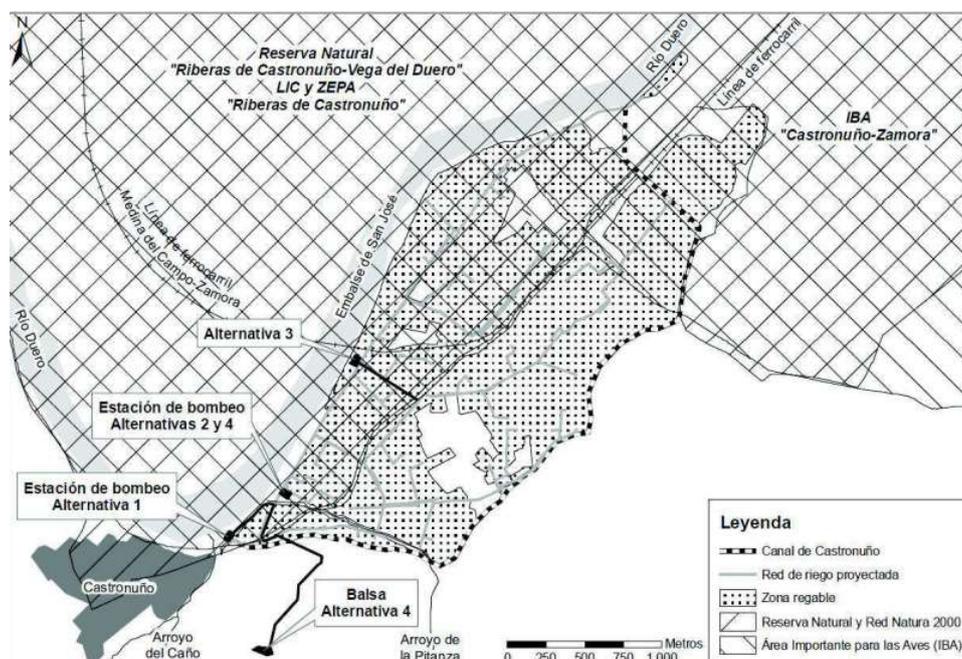


Figura 1. Ubicación de los elementos principales del Canal de Castronuño[16]

En 1990 se crea la Comunidad de Regantes del Canal del Pisuega y se articulan, con posterioridad y en varias comunidades más<sup>15</sup>, determinados mecanismos encaminados hacia

<sup>12</sup>Conocida más popularmente como presa de Castronuño. Es de gravedad y tiene una capacidad de embalse de 5,5 Hm<sup>3</sup> y una superficie de afección de 192 Ha. Forma parte del catálogo de zonas Húmedas de interés especial en Castilla y León (INZH).

<sup>13</sup>La empresa constructora fue Boeticher y Navarro. La gestión eléctrica empezó con la empresa Electra Popular Vallisoletana.

<sup>14</sup>Dicho canal tiene una capacidad de transporte, en cabecera, de 650l/s, lo que daría un volumen de unos 2.152.388m<sup>3</sup>.

<sup>15</sup>Ente otras, y asociadas a este tramo de la cuenca del Duero, se han destacado varias Comunidades de Regantes, como es el caso –referencial– del Canal de Toro-Zamora (provincias de Zamora y Valladolid), declarado de Interés General por Ley 62/2003, de 30 de agosto, de medidas fiscales, administrativas y del orden social (BOE nº 313, de 31 de diciembre 2003), en cuyo Título V, Capítulo IV, Artículo 111, se declaran de interés general determinadas obras de infraestructuras hidráulicas con destino a riego y designadas, a tal efecto, como “Obras de modernización y consolidación de regadíos”, y en la que se constata la replicación el

una gestión[15] más ágil, y dar continuidad a los cultivos de trigo, cebada, alfalfa, girasol, maíz y remolacha o, en su defecto, aquellos otros de los que puedan obtenerse ventajas de producción destacándose, independientemente del área, que se da una “replicación” en las condiciones de producción<sup>16</sup>, y gestión (conexión con presa, embalse de regulación, estado de las canalizaciones y drenes de distribución de agua, diversificación de sembrados, etc.).

Desde hace varios años[16] y hasta 2019, y a raíz de los escenarios propuestos ante los nuevos retos sociales y del campo, dichas comunidades de regantes apostaron por una modernización de los sistemas de regadíos vinculados a estos territorios<sup>17</sup>, habida cuenta de las significativas – y evidentes- pérdidas en los recursos hídricos de aquellas obras (canalizaciones y drenes), dañadas a causa de su mal estado y falta de mantenimiento, agravándose el problema y que, según los cálculos de las propias asociaciones de agricultores, su actualización y reforma favorecería la continuidad y viabilidad de aquellas explotaciones agrarias dependientes, haciéndolas sostenibles y ayudando a fijar población y desarrollo rural.

La situación geomorfológica de esta unidad agrícola es una superficie aterrada (suave), con varios niveles escalonados, envuelta en un gran meandro encajado, en forma de una uve amplia, que provoca acciones erosivas por los afluentes y la dinámica fluvial de los ríos, entre otros, Trabanco y Zapardiel, y arroyos como el Requejo del Puente, Caño y Pitanza, incluido en la zona de afección y considerándose una zona muy activa y de alta sensibilidad y vulnerabilidad<sup>18</sup>, sobre todo al Cambio Climático.

Todo ello orientó, en el momento de su construcción, a un sistema de regadío por gravedad como más adecuado, dependiente del canal de Castronuño que lo abastece, en régimen de lámina libre. Dadas las nuevas condiciones climáticas y de la obra de regadío, y desde el punto de vista del modelo propuesto (“*The Green Leaf*”<sup>19</sup>), resulta poco eficiente y –por consiguiente- sus rentabilidades son muy bajas y con altos consumos hídricos, lo que compromete su futuro.

---

modelo de “*The Green Leaf*” ya que los condicionamientos y parámetros de definición serían, siempre los mismos, variando – lógicamente, los condicionantes de geográficos y de recursos y bienes de consumo, e insumo.

<sup>16</sup>Parece claro que, en función de las condiciones específicas y parámetros climáticos (heladas, lluvias, sequías, etc.), que pueden consultarse en el Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR), que es alimentado, en esta zona, por la estación de Tordesillas (da las series de Evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>), T<sub>9</sub>, Lluvia, Insolación, HR, frecuencia del viento, etc.) de las áreas agrícolas en zonas regables, presentan una determinada variabilidad de cultivos (estos datos se han consultado en ITACyL, que facilita los coeficientes de cultivo(Kc) y la fenología) en los que predomina para estas condiciones, en este sector, cultivos de maíz y a cereal de invierno, con una extensión, en estas áreas de modernización, del 95% de la superficie. El resto se reparte en cultivos como la remolacha azucarera y la patata, lo que siempre ha obligado a modificar la demanda de agua y sus sistemas de gestión del recurso y las posibilidades de optimización local.

<sup>17</sup>Actualmente cuenta con una superficie modernizada de 7.500 Ha, y se prevé concluir la reforma y modernización en los primeros años de la próxima década. Las cifras reflejan la firme apuesta de la comunidad por los sistemas de innovación y presurización, contando en la actualidad con más de 70 km de redes.

<sup>18</sup>La ubicación, la geomorfología y los estudios de zonas de riesgo de inundación (ARPSIS), dan una alta exposición a este territorio. Si se añaden las nuevas previsiones y escenarios de riesgo al Cambio Climático, la vulnerabilidad y sensibilidad se dispara, con lo que las opciones para la adaptación, al menos “activa” quedan muy limitadas. Esta circunstancialidad hace muy singular a este proyecto ya que las inversiones y readaptaciones de los sistemas pasivos son más fácilmente recuperables y las pérdidas son relativamente menos significativas.

<sup>19</sup> Un parámetro de modelización que se contempla en la algoritmia del proyecto es la “pendiente” (elemento determinante, junto con la proximidad del nivel freático, para decidir, al menos en la época de construcción de esta infraestructura, si el sistema de riego debía ir por gravedad, con manto de agua, o por aspersión, en general más caro y con otra tecnología más compleja) de la superficie de afección que, para un determinado rango de variables da un mayor peso de ponderación al riego por aspersión (pendientes muy bajas) o por gravedad (mayores ángulos de desnivel). A ello ha de añadirse las nuevas variables ambientales en las que, a partir del desarrollo de las políticas del PNIAC y PNACC, integran en la formulación teórica la GEI’s, e impactos sobre cada unidad e indicador ambiental (hidrogeológico, contaminación química, redes de drenajes, etc.).

A estas limitaciones habría que añadir otras de orden logístico, como que los regantes deben organizarse para establecer turnos; priorizándose el regadío por cultivos, lo que complica aún más la rentabilidad y eficiencia en el riego, si bien en algunas parcelas se han detectado sistemas bombeos particulares y balsas o depósitos de almacenamiento que recurren al riego por aspersión<sup>20</sup>, y que, por los cultivos implantados y la suave pendiente del terreno, hace que puntualmente mejore la producción de algunas cosechas.



**Figura 2.** Páramo de la zona de Castronuño y estado de los campos.

Debido a lo obsoleto de la infraestructura de la que se parte, tal y como se constata por el estado de la red de acequias y las tuberías, y sus múltiples deficiencias (bien estructurales o de diseño), y agravado además por la pobre calidad de los materiales de fábrica, se vienen registrando unas pérdidas de los recursos hídricos bastante significativas y que comprometen su continuidad debido, sobre todo, a los nuevos condicionamientos climáticos.

A ello debe sumarse la problemática -de gran impacto en esta unidad- de los lixiviados de los fertilizantes<sup>21</sup> y fitosanitarios que se han encontrado y que favorecen la contaminación difusa de acuíferos<sup>22</sup> y alfaguaras (asociadas a límites litoestratigráficos de las capas intercaladas de las arcillas y las gravas, o arenas de la serie geológica, siendo responsables (principalmente por los retornos) de las exportaciones de agroquímicos y sales desde las zonas regables hacia los cauces naturales (Río Duero y sus afluentes), con la misma consideración de degradación de la calidad de las aguas.

El resultado evolutivo, desde 1960, es un empobrecimiento general del perfil edáfico (clasificado como fluviosol calcáreo –Entisol-, de acarreo y de génesis relativamente joven a

<sup>20</sup> Se ha constatado que estos equipos de riego por aspersión usan bombas (motores acoplados a una bomba extractiva autónoma, o conectada al propio tractor), de combustibles fósiles (gasoil) los que afecta a las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y que, en el modelo de equilibrio constituye una entrada de GEI's significativa. Dado que, geológicamente, estamos ante un aluvial (Identificado dentro de la unidad Riberas del Duero y Afluentes (ES4170083) perteneciente a las unidades Tordesillas (CD 021.038) y que es posible que dichas extracciones de agua no pertenezcan, en rigor, a acuíferos subterráneos si no, más bien a los niveles freáticos del propio río Duero.

<sup>21</sup> Los análisis geoquímicos de las aguas de los acuíferos de esa zona registran elevados contenidos en iones SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>;NO<sub>2</sub>, y cationes traza de Pb<sup>2+</sup> NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, asociados a episodios generados por vertidos urbanos o industriales y si bien su extensión se ciñe a plumas de transmisión relacionadas con la hidrodinámica de la propia masa de agua, constituyen una fuente de contaminación de los acuíferos que van degradando la calidad de sus reservas de agua.

<sup>22</sup> Este problema no es menor. En el área de Castilla-León, básicamente restringida al río Duero y su cuenca hidrográfica, la afección pone en riesgo potencial a un total de 22 masas de agua subterráneas, por contaminación de tipo agrícola, lo que plantea, a largo plazo, unos impactos difíciles de cuantificar, si bien existe, desde el 2019 una gran cantidad de información geoquímica, en la que se detallan todos los componentes mayoritarios y gran parte de los que aparecen en la lista de "contaminantes requeridos" por la Directiva 2006/118/CE.

partir de depósitos aluviales poco evolucionados, junto con el tipo Cambisol Eútrico –Alfisol-, más adaptados al secano), y sus niveles de desarrollo en nutrientes, vinculados al arrastre (y por lo tanto sustitución geoquímica) e incorporación de determinados (y nuevos) cationes o sales contaminantes, muchos de ellos de origen en los fertilizantes y que terminan en el propio río que hace de sistema receptor[17], propalando la pluma de contaminación, o, en el menor de los casos, formando costras en los suelos que inutilizan los sistemas de regadío.

Este hecho, además, tiene una especial importancia debido a la interrelación, ampliamente estudiada por otra parte por el IGME[17], entre el acuífero subyacente, el río y los ecosistemas locales.

La casuística territorial ha establecido una serie de figuras de protección, como la Red Natura 2000, LIC's, ZEPA's, etc., y en el área de estudio, especialmente, figura la unidad ES4180017, Riberas de Castronuño, cuya masa de agua catalogada tiene una superficie muy similar a la unidad de definición (84,21Km<sup>2</sup>, acotada en un perímetro de 61,32 Km) y al área de afección aquí propuesta a mejorar (está conectada, a su vez, con la masa de agua cuyo código es 021.038 (Tordesillas), 021.041 (Aluvial del Duero: Tordesillas-Zamora) y 021.047 (Medina del Campo), generando un sistema complejo en equilibrio hídrico muy sensible, con un alto grado de solapamiento.

Parece obvio que, además, parte de los recursos hídricos provienen de los acuíferos (sobre todo en aquellas parcelas en las que se han introducido sistemas de bombeo) lo que induce a pensar que este exceso de caudales de extracción respecto a la cantidad de recursos disponibles, catalogados, da lugar a una situación de desequilibrio que conlleva un descenso acumulado de los niveles piezométricos y, en consecuencia, se acusa una mayor demanda de agua y de extracciones a más profundidad dentro del propio sistema hidrológico subterráneo.

La proximidad del campo de referencia (parcela o unidad geomorfológica del meandro de Castronuño) al río Duero, principal tributario y elemento regulador del sistema hidrológico, complica el análisis del balance hídrico ya que en él ha de introducirse la relación río-acuíferos y su balance<sup>23</sup> de trasvase de agua de un sistema a otro, o viceversa<sup>24</sup>.

Conceptualmente el modelo desarrollado [17] se basa en la relación río-acuífero ganador (es decir con flujo de corriente y lavado de las sustancias y con desplazamientos de los perfiles edáficos locales), favorecido todo ello por ser, geológicamente, una unidad detrítica conformada por las gravas cuarcíticas, arenas, calizas y arcillas suprayacentes (terciario, pliocuaternario y cuaternario) al zócalo paleozoico y cuya porosidad es media a muy alta, lo que justifica la importante infiltración directa pluvial, además de la de los retornos provenientes del riego.

---

<sup>23</sup> El balance hídrico de un tramo, en relación con el río y su acuífero asociado (es decir si tiene pérdidas o ganancias de agua entre ambos sistemas hidrológicos), depende de la formación geológica del sustrato, de su permeabilidad y estructura litológica, de los datos piezométricos, hidrométricos y foronómicos de los sistemas de control asignados a la unidad hidroestructural.

<sup>24</sup> Dentro de esta casuística y para este tramo del río, vinculado hidrogeológicamente a las estaciones de registro y área de influencia de Tordesillas y sus estaciones temporales de control foronómico (el Duero cuenta, en la actualidad, con 143 estaciones de registro), y dada la importancia de mantener unos volúmenes tanto de reserva como de gasto, ha de incluirse en los cálculos hidrogeológicos del tramo asignado a este sistema (recuérdese que en esta cuenca se han contabilizado 179 tramos de balance divididos en cuatro situaciones: cauces Efluentes (C<sub>E</sub>); Influentes (C<sub>I</sub>); de Relación Variable (C<sub>V</sub>) y de Relación Mixta (C<sub>Mx</sub>) o Compuesta).

## Condicionamientos de Partida

En la cuenca del Duero, y de acuerdo con todos los estudios de campo realizados por las diferentes comunidades de Regantes, se corrobora el mismo patrón de comportamiento para proyectos de este tipo y cuya causalidad habría que buscarla en el marco del Plan Hidrológico de la Demarcación del Duero (PHD), y en cumplimiento de los objetivos de la Directiva Marco del Agua (DMA).

Básicamente, los criterios esenciales de actuación para definir el modelo “*The Green Leaf*” asimilables a la parcela base y entendida como los requisitos mínimos de Infraestructuras Naturales Verdes, sobre la que se elabora el modelo de referencia, son:

- Evaluación técnico-ambiental del proyecto a mejorar. Esta información, preliminar, diagnostica la problemática y que, en líneas generales ya se esbozó anteriormente. En este tipo de proyectos, y dada su coyuntura histórica, es importante establecer bien los criterios de eficiencia pues una mejora puede generar más problemas que la reformulación como obra nueva.
- Nuevas estructuras a diseñar. El proceso de modernización exige proponer actuaciones complementarias y cuya finalidad es aproximarse a los objetivos de optimización y eficiencia de los recursos hidráulicos. En estos proyectos se incluye un reservorio hídrico (balsa de regulación<sup>25</sup>); redistribución de los drenes ya existentes, y los sistemas de generación de energías renovables (eólicos o fotovoltaicos<sup>26</sup>) en cumplimiento de la neutralidad climática.
- Adaptación. A las nuevas estrategias de reducción y cumplimiento del PNACC y PNIEC, y cuyas soluciones se deben basar en combinar las interdependencias entre el cambio climático, los ecosistemas y los servicios que se demandan[18], para aumentar la resiliencia que, en este tipo de proyectos, inciden en las inundaciones, biodiversidad e, indirectamente, en la mitigación del cambio climático. En este caso las opciones son dos, o una adaptación activa, con medidas sobre todo el conjunto de la unidad o pasiva que es estudiar la viabilidad de las obras ya existentes y ver su capacidad de reacondicionamiento a las nuevas variables climáticas y ambientales.

Basado en este esquema, y en función de la tipología tan específica de estos proyectos, las medidas propuestas deben incidir sobre los impactos (mayor eficiencia en el consumo de agua y energía, con los consiguientes rendimientos en la producción y calidad del recurso agrícola en este caso; disminución de la contaminación de acuíferos; reducción y corrección de pérdidas de volúmenes de agua<sup>27</sup>; mejora de la calidad –química- del agua; ahorro y reducción de la emisiones de GEI's<sup>28</sup>), variables a partir de la vida útil de la obra.

---

<sup>25</sup>Fija la captación de un caudal continuo, flexibilizando los turnos de riego y mejoran el funcionamiento de la instalación.

<sup>26</sup>El sistema de generación de energía renovable, y autónomo, esta condicionado por parámetros geográficos y variará en relación a los mapas que, en este caso, serían de vientos e insolación (en las zonas de vega es más útil, y dan mayores rendimientos, las estaciones de placas o paneles fotovoltaicos y los subsistemas de acumulación con reguladores de carga).

<sup>27</sup>El consumo en una campaña de riego, en función –obviamente- de las necesidades hídricas de los cultivos (incertidumbre que debe resolverse en el proyecto), para esta área de entrenamiento, de unas 400 Ha, se estima en los 2.152.388 m<sup>3</sup> (2,15 hm<sup>3</sup>, de volumen neto necesario). Si el canal de Castronuño tiene una sección con 5,5 km de longitud y una capacidad, en cabecera, de 650 l/s, los cálculos estimados, para una campaña, puede llegar a alcanzar unas pérdidas de 1.261,25 m<sup>3</sup>.

<sup>28</sup>De acuerdo con el PNIEC deben converger en los objetivos de mejora de la eficiencia energética; en la contribución de las energías renovables y en la reducción de las emisiones ligadas al territorio (20% en los tres casos).

Como medida de adaptación pasiva, y dada la condicionalidad de ejecución del plan de mejora, esta opción incluye acciones de reforestación, fijación de suelo y cobertura vegetal en superficies de “sombra”, ayudando a la creación de sumideros de carbono.

Asimismo, y como objetivos secundarios, con estas mejoras se optimizarían costes económicos y energéticos, haciendo independiente el consumo energético (sobre todo las fuentes que proceden de renovables<sup>29</sup>) de las curvas de costes y demanda de energía, lo que se vería proyectado en el sistema de riego que tendría una mayor regularidad en las presiones en la red de distribución, adecuando más fácilmente la demanda a la oferta, y cuyo resultado ha de ser -necesariamente- una gestión más adecuada del riego para los agricultores.

Consecuencia de lo anterior es una mayor flexibilidad en la tipología de los cultivos, siempre condicionados al sistema de riego (o aspersión o manto de gravedad<sup>30</sup>) con lo que se mejora la productividad y se favorece una mayor diversificación de especies y variedades de explotación.

La finalidad, por lo tanto es recuperar las condiciones iniciales de partida, pero mejorando los aspectos considerados -hasta ahora- como invariantes (actualización tecnológica a causa de las emisiones de GEI's) y que vendrían agravados por la inclusión de sistemas de bombeo a base de combustibles fósiles.

Otro de los objetivos es la construcción (e integración en el espacio del estudio) de una balsa<sup>31</sup> de acumulación, o regulación (elemento común, y necesario, en la mayoría de los proyectos de la zona[15]), en cotas lo suficientemente altas, sin cargas ambientales<sup>32</sup>, para tener garantías de presión de carga que pueda satisfacer las demandas del riego -por presión lógicamente- a las zonas parcelarias dentro del perímetro de actuación eficaz, y vinculadas al sistema fuente (el río principal tributario).

La existencia de un sistema de redes de riego (acequias y zanjas) de distribución antiguo, con bastantes deficiencias (fugas) pero que puede reaprovecharse (y optimizarse) ayudaría en la reducción de los caudales de retorno (pérdidas del sistema, incluyendo la escorrentía y percolación), contribuyendo a la resiliencia frente al Cambio Climático y sería el elemento que justificaría la propuesta de la adaptación pasiva basada en la infraestructura Natural Verde.

---

<sup>29</sup> El suministro de energía para la estación de bombeo está previsto que cubra en torno al 50% de las necesidades energéticas (dada la casuística en este tipo de parcelas, asociados a los llanos y sin vientos regulares, es más eficaz la implantación de paneles solares fotovoltaicos que complementará la potencia necesaria con la toma a la red eléctrica convencional existente actualmente) y abastecerán a los equipos de motores contribuyendo a una menor pérdida de la presión de agua en las conducciones de la red.

<sup>30</sup>La modalidad en el cambio de uso de riego por gravedad a aspersión supone, como término medio, un ahorro hídrico de 0,96 Hm<sup>3</sup>, por lo que la sustitución del riego a pie -utilizado actualmente y que es difícil aplicar a láminas de agua por debajo de 100 mm, mientras que con la aspersión pueden darse riegos de hasta 4 mm, suficientes para garantizar la germinación- por el sistema de aspersión sería del 82% frente al 60% de riego por gravedad. Ello significa una “recuperación” significativa del volumen de agua, minimizando el impacto climático y evitando usar recursos hídricos sobre todo de los acuíferos subyacentes.

<sup>31</sup>La mejora y modernización de los sistemas de regadío, y sus obras asociadas, deben priorizar los criterios de eficiencia energética basada en recursos renovables, reduciendo al máximo posible, en este sentido, la relación costes/producción, incluyendo las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por ello la balsa de regulación (o cualquier otro sistema de almacenamiento hídrico) debe dimensionarse, y ser operativa, para que su llenado y uso cumplan con estos parámetros y puedan garantizar la recarga y mantenimiento del elemento dentro del ciclo energético correspondiente.

<sup>32</sup>Este tipo de obras deben construirse fuera de los elementos condicionantes (figuras de protección como LIC's, ZEPA.s, Red Natura 2000) lo que incluiría áreas de tierras de cultivo a una determinada cota que garantice una presión de carga mínima para satisfacer la distribución del agua a todas las parcelas, haciendo -por consiguiente- que su incidencia ambiental sea mínima y se pueda ajustar la demanda a la oferta (criterio de gestión integral).

## Análisis territorial. Teledetección

Establecidas, y fijadas, las condiciones de contorno, sobre todo en las cuestiones jurídicas y los requerimientos derivados de la legislación ambiental del proyecto piloto para configurar la validez del modelo *"The Green Leaf"*, aplicado -en este proyecto- a un segmento de una cuenca hidrográfica, y las exigencias (condiciones restrictivas) impuestas por la ordenación territorial, el paso de este proceso, al acotar la zona de ensayo, sería la constatación de su viabilidad y posibilidades sobre el territorio, describiendo –geográficamente- sus unidades territoriales e interrelaciones.

Tradicionalmente la herramienta usada es la teledetección y las técnicas derivadas de los Sistemas de análisis espacial de Información Geográfica (SIG) que, de forma relativamente rápida, y cuantitativamente, posibilitan una primera clasificación de los elementos que configuran el paisaje y, por consiguiente, la base aproximativa del diseño y arquitectura en los proyectos ambientales.

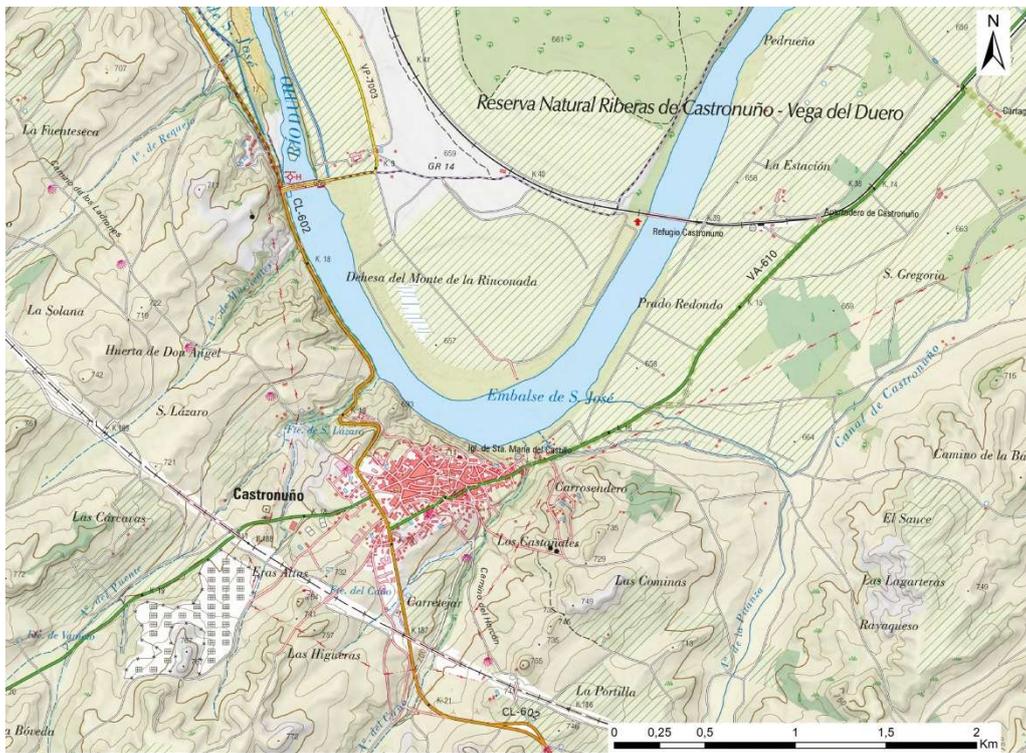


**Figura 3. Mapa de ubicación de la zona, desde la perspectiva puramente vertebral del territorio (Google Map. Zona de Castronuño). Cuenca del Duero**

La primera fuente de información procede de documentos oficiales de ordenación territorial y en los que, sucintamente, se resaltan los núcleos urbanos y la red de comunicaciones de la zona. A su vez se define la red hidrográfica del Duero (con su evidente meandro) y algunos espacios acotados (color verde) identificados como zonas de especial interés.

Una primera apreciación es que la zona es relativamente plana (el páramo castellano), encajada en una importante vega, o llanura de inundación, en la que se destaca, sobre todo en la parte S, diferentes escalones morfológicos (asociados a terraza fluviales), y cuya respuesta señala que es una zona media de un río evolucionado con cierto control geológico de su curso y unos materiales detríticos condicionantes de dichas unidades, depositadas en las riberas y cauces menores.

El mapa topográfico ya marca un principio de cartografía, oficial) en la que ya se distinguen las unidades más importantes (Reservas Naturales, unidades hidrográficas, dentro de las que destacan los ríos, embalses, riberas, afluentes, surgencias y canales de riego, como más representativos, además de núcleos de poblaciones, infraestructuras lineales –ferrocarriles y carreteras- y campos o áreas de tipo industrial,...) y que evitaría desplazamientos al terreno, al menos en esta primera etapa (Figura 4).



**Figura 4. Mapa topográfico, de poblaciones, redes y elementos territoriales vinculados a la zona. Se incluye las curvas de nivel que permitirán algunos tratamientos de carácter puramente de ordenación y clasificación de unidades a considerar.**

Territorialmente es una zona dedicada, como actividad principal, a los recursos agrícolas y, en menor medida ganaderos, con una estructura, alrededor de las poblaciones, radiales lo que evidencia una amplia tradición en este sector<sup>33</sup> y, por lo tanto, una estructura económica muy bien arraiga y consolidada.

Parece claro que es una vega con bastantes recursos hídricos y fértiles, sobre todo en la vertiente N del río, en la que el espacio confinado del meandro permite un abastecimiento garantizado de agua y unos perfiles edáficos relativamente ricos por su composición geoquímica rica en nutrientes y cationes de interés agrícola.

Destacar que en la zona SW, entre las carreteras secundarias de acceso a Castronuño se encuentra un unidad identificada como campo fotovoltaico solar, de gran interés para el desarrollo de este proyecto y que se ilustra en la Figura 4.

<sup>33</sup>Estructura heredada, al menos, desde la baja edad media y que responde al modelo patrón de Castilla, la Vieja.

La imagen de la zona, confirma todos los extremos anteriores y, además, pone de manifiesto la presencia de algunos pivots hídricos, de gran importancia (acotados dentro del meandro de Castronuno) y que señalan una importante inversión en su momento en los recursos agrícolas en la zona y que se han situado, obviamente, en las zonas con más posibilidades de agua.



**Figura 5. Imagen aéreas, rectificada, dela zona de estudio. En ella se pueden ver diferentes unidades geomorfológicas, de infraestructuras y el estado de los campos y su situación y estado fenológico. Destáquese el campo de los paneles fotovoltaicos solares.**

Estas tres imágenes, incluida la fotografía aérea (Figura 5), y los anteriores planos, o mapas locales, suponen lo que –tradicionalmente- se ha llamado “trabajo de campo”.

Es el primer nivel para establecer la discriminación morfológica, las unidades de relieve, los elementos y los atributos en la zona de estudio.

La comparación entre ambas imágenes (Figura 4 y Figura 5, respectivamente) nos da unas primeras aproximaciones. Esto es: El río está regulado (lo que minimiza el riesgo de inundaciones aguas arriba y, por ello, como zona ARSPSIS, queda reducida a su mínimo nivel de exposición)<sup>34</sup>; existe una fuente de recurso renovable (planta solar fotovoltaica) que optimiza la zona como área de aprovechamiento de energía limpia y, por tanto, baja en emisiones y es posible diseñar actuaciones en las que el recurso agua esté involucrado y con ello pueda incrementarse su demanda, consumo y gasto, manteniendo su sostenibilidad.

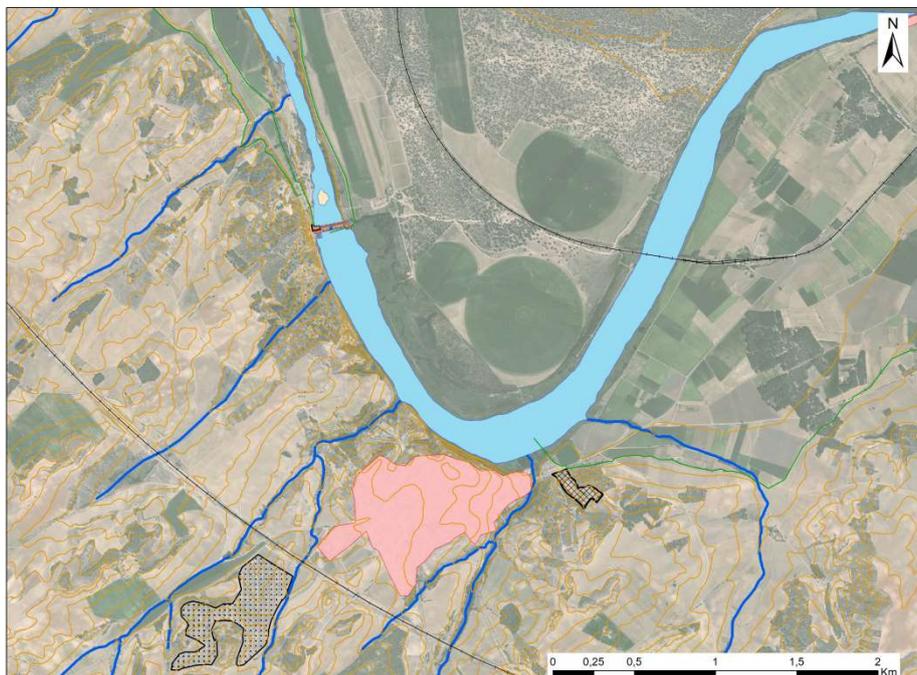
---

<sup>34</sup>No se considera, de momento, la zona como expuesta si se aplicase los criterios y modelos predictivos de Cambio Climático, por lo que los resguardos de la presa de regulación y los sistemas de detraimiento de caudales (como son las acequias y demás) puede compensar este efecto, si bien debería estudiarse más detalladamente)

El siguiente nivel en el modelo de ensayo de “The Green Leaf” es la generación de mapas de propiedades, georreferenciados y rectificados (mediante la aplicación de “Arc-Map”), para su tratamiento integral.

La base topográfica y planimétrica digital es la “BCN 25” del IGN. El uso del MDT, o MDE (“Spatial Analyst” y “Surfer”) cartografían la zona de interés en función de los condicionantes establecidos, y asumiendo ciertas variables topográficas, de áreas de exclusión y unidades hidrogeológicas locales.

Sobre las imágenes anteriores se integra la red hídrica, que es la que marcará las líneas de selección en cuanto a la importancia de este recurso, sobretodo en criterios de optimización agrícola, y de referencia en acequias y canales de riego, tal y como se ilustra en la siguiente



**Figura 6. Red superficial hidrológica de la zona. Marcaría las lineaciones y zonas de protección asociadas a zonas de riesgo de inundación y ARPSIS locales. En la imagen se han cartografiado una unidad fotovoltaica, ya construida y operativa (hacia el SW de Castronuño) y una de nueva propuesta (NE) como alternativa de recurso energético renovable.**

Evidentemente, esta red acota las llanuras de inundación (vegas más fértiles) y sus riesgos asociados, así como la cartografía, topográficamente, de las terrazas (de evidente desarrollo en la zona S, y ligadas a variaciones en la pendiente), anales naturales, paleocanales, trazado y direccionalidad de afluentes y efluentes y, por tanto aporta información secundaria de los procesos evolutivos y de cambios morfológicos de la red hídrica con el tiempo<sup>35</sup> y desarrollo de la dinámica fluvial. Esta circunstancialidad hace que este tipo de áreas (de nueva creación natural) sean excesivamente porosas y al no estar consolidadas, sus niveles freáticos sean más bajos de lo acostumbrado para el meandro.

<sup>35</sup>La progradación, hacia el N del meandro señala un área desprotegida, de acreción sedimentaria, en la que se da un déficit hídrico, al menos en los niveles más superficiales y que queda acotada por el cambio de orientación del afluente, que no mantiene la lineación NE-SW, derivando hacia el NW.

Sobre la red hidrográfica, y ya a modo de establecer las zonas de exclusión, se representan las distintas figuras de protección ambiental, (ZEPAS, IBAs y LIC's, etc.,) que, prácticamente, ocupan la zona del meandro y parte se margen izquierda del brazo (parcelas de código 102 del catastro) que estarían dentro de la zona piloto del "The Green Leaf".

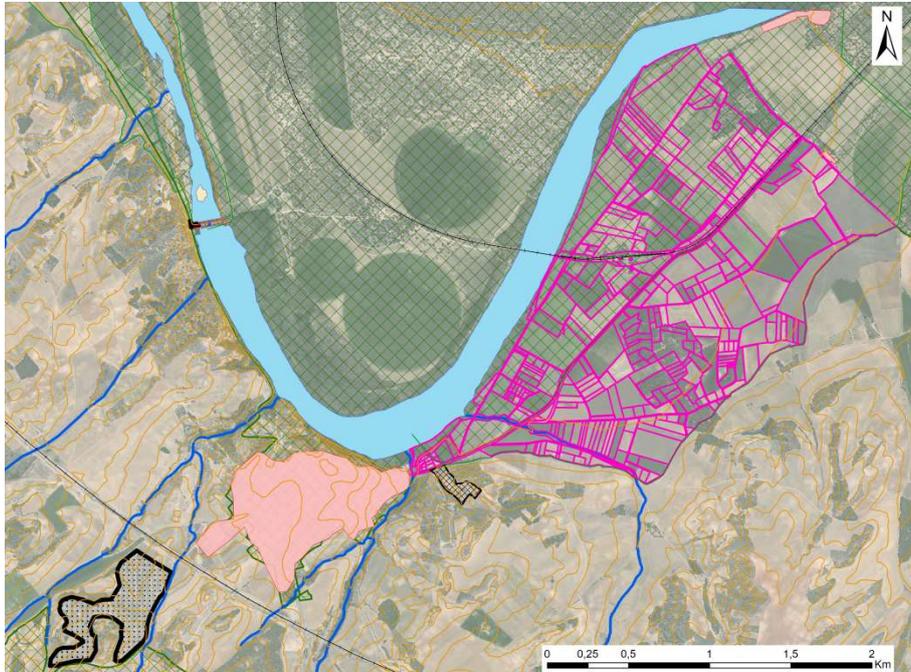


Figura 7. Área de exclusión de Protección Ambiental Especial Ambiental, de acuerdo a la información oficial del MITERD, como base cartográfica del IGN.

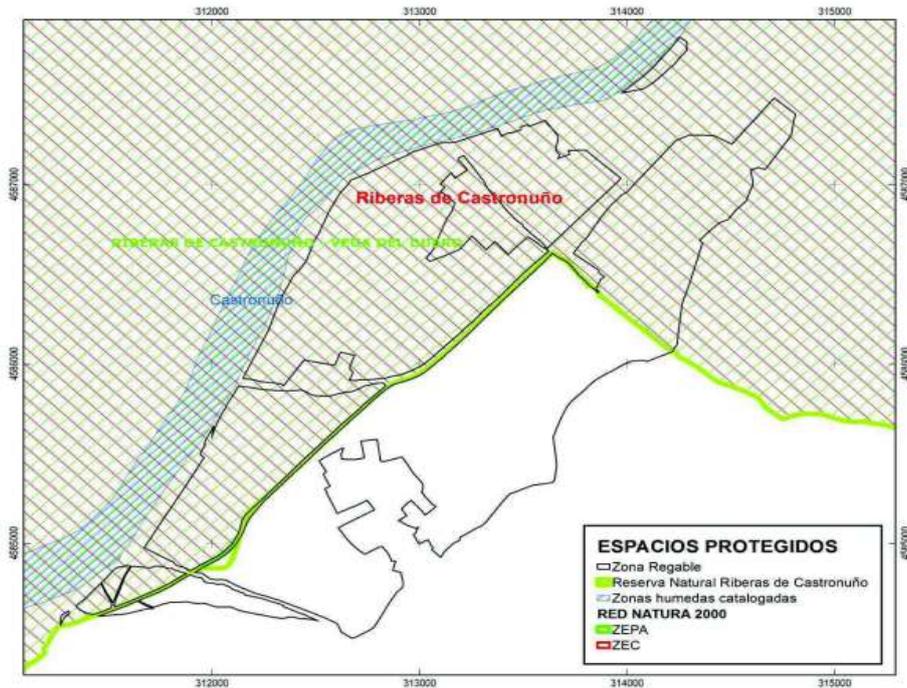
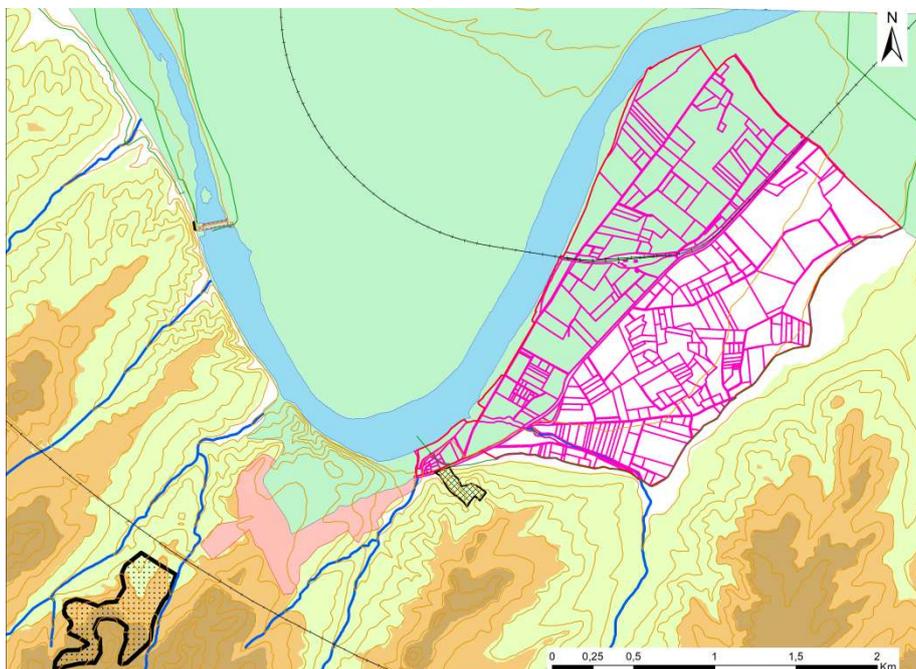


Figura 8. Zonas de mejora y modernización de regadío del canal de Castronuño, respecto a la Red Natura 2000 (ZEPA y ZEC) Reserva natural y Zonas Húmedas cartografiadas (BOE....)

En el BOE se ha fijado el proyecto definiendo las zonas protegidas o áreas de exclusión que, como puede constatarse, son coincidente el análisis ambiental deducido para la parcela tomada como referencia (Figura 8).

Avanzando en la información topográfica, se ha añadido la capa de cotas, cartografiando en cuatro rangos altimétricos que se corresponderían a la vega baja del Duero (<670m), una zona intermedia, de pendiente ligeramente más acusada (>670 m y <720m) caracterizada por discretos abanicos aluviales y de acarreo; una zona superior, entre 720 m y no mayor de 730 m, dependiente relativamente suave y luego otra, (por encima de esta cota que marcaría las divisorias de agua y, por lo tanto, la protección natural en cuanto a cuencas de afección, tanto visuales como de flujo (Figura 9).



**Figura 9. Superposición de la altitud e impacto sobre la red hídrica (se han segregado tres alturas de cota para zonificar las áreas de interés y que tiene la importancia de asociar, a cada segmento, un valor de energía potencial que puede ser determinante de la ubicación de estructuras de almacenamiento para los sistemas de riego.**

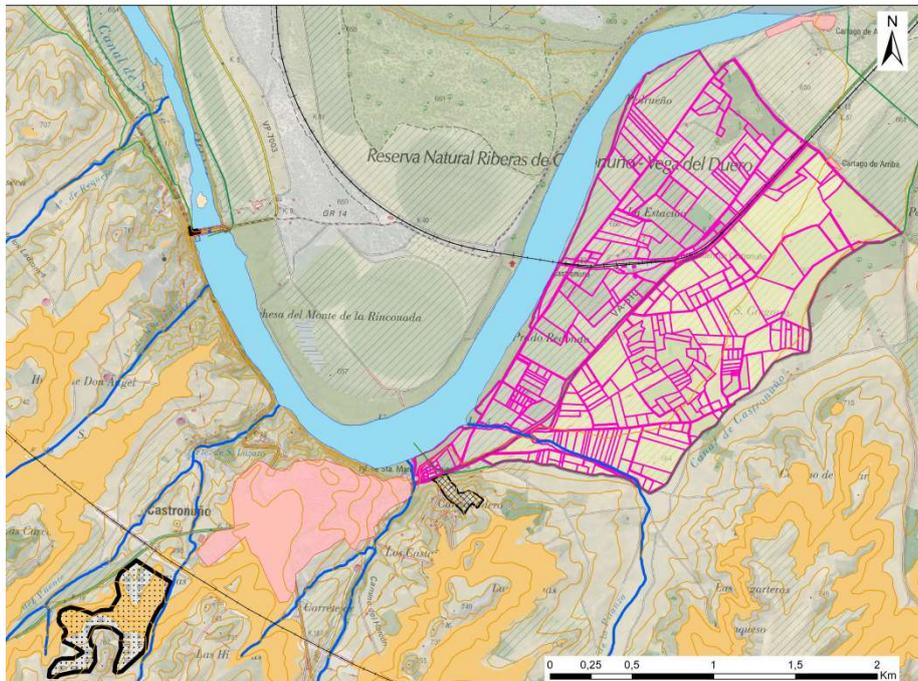
Cada capa de información acota más las posibilidades de ubicación de las infraestructuras. Así, a modo de resumen general, tendríamos que la zona hacia el N del río Duero, las figuras de protección (ambientales) haría muy difícil abordar cualquier proceso de implantación de recursos hídricos (más allá de los actualmente existentes).

Y en la zona S la topografía condicionaría la instalación de sistemas de almacenamiento (balsas y sistemas de regulación) que, además, deberían, de acuerdo con los protocolos de Protección civil, resguardar a las poblaciones allí ubicadas.

Con toda esta información de base ya es posible detectar zonas de interés para ejecutar las infraestructuras del proyecto. Así, la cartografía establecería que el rango intermedio de cotas comprendido entre la curva de nivel 720m y 730m es la más idónea para la ubicación de la base de almacenamiento ya que, a esa altura, las conducciones pueden tener la suficiente

presión como para poder garantizar el riego a toda la parcela. La cota superior, además de tener, lógicamente más pendiente, no garantizaría el efecto pantalla de las divisioiras de agua que, generarían zonas de protección ante desastres de rotura o colapso de las balsas.

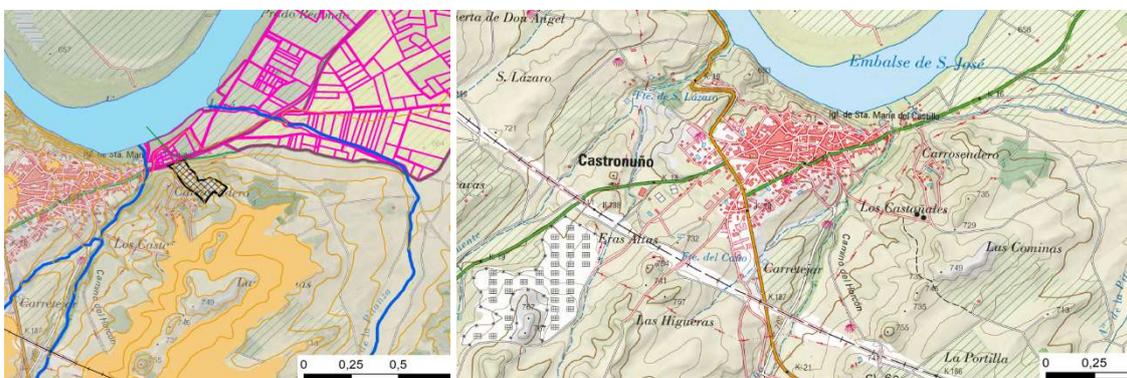
Por consiguiente, el mapa de trabajo quedaría de la siguiente manera (Figura 10):



**Figura 10. Zonas seleccionadas para ubicar la balsa de almacenamiento (franja de cota marrón). Evidentemente deben seguirse las áreas, dentro de esta franja que estén a la sombra de divisoria de agua que protejan las poblaciones.**

Con los criterios esbozados ya, la ubicación de la balsa se fijará en algún lugar de la franja (marrón), y protegida de la población por la divisoria de aguas (Figura 11, izquierda).

Llama la atención que en el mapa de ordenación territorial aparezca un campo fotovoltaico ya construido lo que favorece la implantación de sistemas de riego basados en energías limpias y renovables, lo que favorece, desde la perspectiva de emisiones el impulso del proyecto.



**Figura 11. Zona de mayor seguridad y resguardo para la ubicación de la balsa (izquierda). Infraestructuras de energía (derecha).**

El examen de la propuesta de “Mejora y modernización del Regadío en la Comunidad de Regantes del Canal de Castronuño (Valladolid) contempla el acondicionamiento y ejecución de una planta fotovoltaica solar como recurso energético. Este proyecto, por consiguiente, cumpliría con los requisitos de lo que se ha venido en llamar la “adaptación pasiva” por lo que, desde un punto de vista de las sinergias, sería interesante constatar la necesidad la oportunidad de instalar este parque fotovoltaico, entendiendo esto como un proyecto integral que debe considerar las condiciones de contorno.

## Conclusión

Dada su condicionalidad de adaptación pasiva (que exige ya una infraestructura de actuación, independientemente de su estado y operatividad), el proyecto debe tratarse dentro del Anexo II<sup>36</sup> de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental (modificada por la Ley 9/2018 de 5 de diciembre).

La zona, con abundantes recursos hídricos, está regada, en el momento de la propuesta, a través de infraestructuras (bombeo directo a la red de riego), como base de recurso los aportes del Duero (a su paso por Castronuño) y diferentes surgencias, alfaguaras y pozos artesanos de los niveles freáticos locales, ayudados por las acequias y canales (que se pretenden optimizar), siendo además una zona muy llana lo que favorece estos sistemas por gravedad, reduciéndose enormemente los impactos.

El sistema, actualmente con importantes pérdidas de caudal y baja eficiencia de motores convencionales, y altos costes, tanto energéticos como ambientales, ha llevado a la propuesta de mejora de la infraestructura.

De acuerdo con las condiciones de partida, la propuesta metodológica de aplicar el proyecto en cuestión a lo que se ha llamado el sistema de modelización “The Green Leaf” supone una serie de ventajas como la reducción de emisiones, la replicación de la metodología<sup>37</sup> en sectores de una problemática similar y con infraestructuras de bajo coste que garantizan la vida útil de las instalaciones.

En este caso la implantación, a escasos 7 km, de una planta fotovoltaica ya operativa tan sólo requeriría una balsa de almacenamiento, o acumulación, que garantice la presión de carga para la distribución, a partir de los sistemas de distribución que se pretenden modernizar. Con ello se garantiza la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, implantando las energías limpias y renovables que, además, hace independiente la fuente energética de procesos estacionales y, por ello, mejora las condiciones laborales de la zona y un mayor control de la contaminación difusa a causa de los aportes de fertilizantes.

El proceso de modernización minimiza los impactos ambientales en la red hidrológica, el perfil geoquímico del suelo y las alteraciones topográficas, así como una mayor protección de la fauna (Zona de Especial Conservación (ZEC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) locales) según los criterios del Código de Buenas Prácticas Agrarias.

---

<sup>36</sup>Grupo 1, apartado c 1º. Proyectos de consolidación y mejora de regadíos en una superficie superior a 100 Ha.

<sup>37</sup>Esto significa que los parámetros geoquímicos, topográficos y recursos de acuíferos deben ser similares, dentro de la tabla de aceptación del proyecto. Para ello se supone unas infraestructuras base que, o bien están presentes, o bien es necesario integrar.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Comisión Europea (2009) Estrategia Común de Implantación de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE). Documento Guía n.º 18. Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias. (Traducción Dirección General del Agua MARM)
- [2] Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General del Agua (2005) Estudio inicial para la identificación y caracterización de las masas de agua subterránea de las cuencas intercomunitaria
- [3] IGME-DGA (2009) Apoyo a la caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015. Demarcaciones Hidrográficas del Miño-Sil, Cantábrico, Duero, Tajo, Guadiana, Guadalquivir, Segura, Júcar y Ebro. Encomienda de gestión de la Dirección General del Agua (MARM) al IGME (MCIN) para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas
- [4] IGME-DGA (2006) Mapa litoestratigráfico y de permeabilidades, e hidrogeológico de España a escala 1:200.000. [Mapa Litoestratigráfico, de permeabilidades e hidrogeológico de España a escala 1:200.000 \(igme.es\)](http://www.igme.es)
- [5] DGA-IGME (2010). Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Demarcaciones Hidrográficas del Miño-Sil, Cantábrico, Duero, Tajo, Guadiana, Guadalquivir, Segura, Júcar y Ebro. Encomienda de gestión de la Dirección General del Agua (MARM) al IGME (MCIN) para la realización de trabajos científico- técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas.
- [6] DGOH (1990). Estudio de las zonas húmedas de la España peninsular: Inventario y tipificación. Dirección General de Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid, 435 p.
- [7] MOPTMA-MINNER (1994). Libro Blanco de las Aguas Subterráneas. Dirección General de Obras Hidráulicas y Dirección General de Calidad de las Aguas (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente) e Instituto Tecnológico Geominero de España (Ministerio de Industria y Energía), Madrid, 135 p.
- [8] Allen, A., Zilbert Soto, L., Wesely, J., Belkow, T., Ferro, V., Lambert, R., Langdown, I., & Samanamú, A. (2017). From state agencies to ordinary citizens: reframing risk-mitigation investments and their impact to disrupt urban risk traps in Lima, Peru. *Environment & Urbanization*, 29(2), 477–502. <https://doi.org/10.1177/0956247817706061>
- [9] Benedict, M. y. (2006). *Green Infrastructure, linking landscapes and communities*. Washington: Island press
- [10] Circular Law (17/2003). 2004. Recomendaciones para el Proyecto y Construcción del Drenaje subterráneo en obras de Carretera. Ministerio de Fomento. 117 pgs.

[http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/oc17\\_03/apartados/oc.htm](http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/oc17_03/apartados/oc.htm)

- [11] Epiquién, M. (2017). Retos y oportunidades para una gestión sostenible de los recursos hídricos. I FORO INTERNACIONAL: Retos y oportunidades para una Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos. Lima: Sedapal
- [12] Forest Trend (nd). *Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica* Retrieved from <https://www.forest-trends.org/infraestructura-natural-en-peru/#elproyecto>
- [13] Martínez, A. (1992). Evaluación geotécnica de los taludes. La microcuenca de Quirio-Chosica. In J. M. Romero, Los desastres sí avisan - estudios de vulnerabilidad y mitigación II (pp. 117-122). Lima: Tecnología Intermedia (ITDG)
- [14] INFORME DE VIABILIDAD PREVISTOS EN EL ARTÍCULO 46.5 DE LA LEY DE AGUAS (según lo contemplado en la Ley 11/2005, de 22 de Junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional)
- [15] Proyecto de mejora y modernización del regadío en la comunidad de regantes del canal de Toro-Zamora (Valladolid y Zamora). Sector IV. Fase II. 2010. Pg 29. SEISASA del Norte (Sociedad Estatal de Infraestructuras Agrarias). Ministerio de Medio Ambiente y medio Rural y Marino. Gobierno de España.
- [16] BOE Viernes 9 de mayo de 2014 nº 113, SecIII, pg 35766. De resolución de 14 de abril de 2014, de la Secretaría de Estado de Medio ambiente, por la que se formula declaración de impacto ambiente del Proyecto de Mejora y Modernización del Regadío del Canal de Castronuño, Termino municipal de Castronuño (Valladolid).
- [17] Murillo Díaz, J. M. (2013). Las Aguas Subterráneas y la Red Natura 2000. Demarcación Hidrográfica 021. Duero. Ecosistemas Naturales de especial Interés Hídrico. Act. 4. Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. IGME, 731 pps
- [18] Comisión Europea.2021. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité económico y Social Europeo y de las Regiones. Forjar una Europa resiliente al cambio climático — Nueva estrategia de adaptación al cambio climático. (27 pps).
- [19] . Sánchez del Corral, A. (2007). Geomorfología del Dominio Fluvial del Duero en el Sector de Toro (Zamora). Evolución Reciente de La Llanura de Inundación. Revista C&G. 21 (1-2), pps. 103-122. ISSN: 0214-1744.
- [20] Mapas Ccosistémicos de Ordenación territorial y optimización de recursos renovables en ambiente hidráulico. 2020. Base de Datos (<http://servicioecosistemicos.minam.gob.pe/>)
- [21] El nuevo sistema de inversión pública Lima, marzo de 2017 ([https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/invierte/INVIERTE.PE.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/invierte/INVIERTE.PE.pdf))

Marcos-García, P., Pulido-Velázquez, M. (2017). Cambio climático y planificación hidrológica: ¿es adecuado asumir un porcentaje único de reducción de aportaciones para toda la demarcación? Ingeniería del Agua | 21.1. Doi:10.4995/la.2017.6361.