



Fondo Europeo de Desarrollo Regional

14
20

Evaluación de impacto de la inversión FEDER en el cumplimiento de los hitos de la Directiva sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

FEDER 2014-2020



Cofinanciado por
la Unión Europea



MINISTERIO
DE HACIENDA



Fondos
Europeos

Evaluación realizada por el Instituto de Estudios Fiscales del Ministerio de Hacienda. Autores: Ignacio Moral Arce y Ana Moreno Pastor.

Resumen: Este trabajo analiza la efectividad de las inversiones FEDER relativas al cumplimiento de los hitos de la Directiva sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Realizamos una evaluación de impacto que analiza el impacto que tiene la construcción y renovación de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas (EDARs) sobre la calidad del agua, estudiando distintos parámetros que miden la contaminación. Con información de bases de datos públicas, se utiliza la aproximación de diferencias en diferencias para evaluar el impacto de todos los programas FEDER (el plurirregional y los 19 regionales). Los resultados obtenidos reflejan un impacto significativo del programa, reduciendo los contaminantes en las aguas residuales y logrando un aumento en la probabilidad del cumplimiento de la directiva. Esta efectividad se observa en los parámetros que miden el grado de contaminación asociados a la demanda de oxígeno y sólidos suspendidos. Sin embargo, no se tiene suficiente evidencia para los otros dos parámetros que miden la contaminación en las aguas (fósforos y nitrógeno) debido a un problema de potencia estadística.

Palabras clave: evaluación de impacto, diferencias en diferencias, tratamiento de aguas residuales.

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO5

1. INTRODUCCION: CONTEXTO, OBJETIVOS Y METODOLOGIAS DE EVALUACION.....7

1.1. ANTECEDENTES 7

1.2. CONTEXTO 8

1.3. OBJETIVO 8

1.4. SISTEMAS DE INFORMACION Y METODOLOGIA DE ANALISIS 9

1.5. ESTRUCTURA DE INFORME..... 9

2. ANALISIS DE CONTRIBUCION DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL Y CUMPLIMIENTO DE LA DIRECTIVA EUROPEA DE AGUA.10

2.1. DESCRIPCION DEL CONTENIDO DE LA SECCIÓN 11

2.2. HALLAZGOS DE CUMPLIMIENTO DE LA DMA SOBRE LA CANTIDAD DE OXIGENO EN AGUA 12

2.3. HALLAZGOS DE CUMPLIMIENTO DE LA DMA SOBRE LOS SOLIDOS EN EL AGUA..... 12

2.4. HALLAZGOS DE CUMPLIMIENTO DE LA DMA EN LA CANTIDAD DE FOSFORO Y NITROGENO EN AGUA..... 13

3. ANALISIS DE ATRIBUCION: EVALUACION DE IMPACTO DE LAS DEPURADORAS SOBRE EL CUMPLIMIENTO DE LA DIRECTIVA DE AGUA.15

3.1. DESCRIPCION DEL CONTENIDO DE LA SECCIÓN 15

3.2. HALLAZGOS DE LA EVALUACION DE IMPACTO ESTATICA 16

3.3. HALLAZGOS DE LA EVALUACION DE IMPACTO DINAMICA 17

4. HALLAZGOS Y RECOMENDACIONES.....20

BIBLIOGRAFIA.....21

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: LA DIRECTIVA DE SANEAMIENTO Y DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES 22

ANEXO 2: FUENTES DE INFORMACION PARA LA REALIZACION DE LOS ANALISIS E INTEGRACION DE LAS BASES DE DATOS..... 25

ANEXO 3: ANALISIS DE LA DINAMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN ESPAÑA- GRAFICO ALUVIAL 27

ANEXO 4: ANALISIS DE LA INVERSION EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON FONDOS FEDER..... 30

ANEXO 5: METODOLOGIA DE EVALUACION DE IMPACTO – STAGGERED DIF IN DIF 32

ANEXO 6: VARIABLES UTILIZADAS EN LA EVALUACION DE IMPACTO 34

ANEXO 7: ESTIMACION DEL IMPACTO CON UN MODELO DE DATOS DE PANEL..... 36

ANEXO 8: REPRESENTACIONES GRAFICAS ESPACIALES 41

Evaluación de impacto de la inversión FEDER en el cumplimiento de los hitos de la Directiva de sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas

RESUMEN EJECUTIVO

Objetivo: Este trabajo estudia la efectividad de las inversiones FEDER relativas al cumplimiento de los hitos de la Directiva de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales. Para ello, se realiza una evaluación de impacto que analiza el efecto que tiene la construcción de EDARs (plantas de tratamiento de aguas residuales) sobre la calidad del agua, y el cumplimiento de la Directiva de Aguas Residuales, analizando distintos parámetros que miden la contaminación: Demanda química de oxígeno, los sólidos suspendidos que enturbian el agua o la cantidad de fósforo y nitrógeno que hay en las aguas residuales.

Bases de datos: Para realizar este estudio se utiliza información para el período 2013-2021 obtenida de diversas bases de datos de organismos públicos, como el Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (Estadística de Estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas), FEDER en el Ministerio de Hacienda (datos de inversión en EDARs), INE (datos de población, explotación del directorio central de empresas), SEPE (datos de contratos), IGN (datos georeferenciados).

Metodología de estimación: El diseño de evaluación de impacto empleado es la aproximación de Callaway y SantAnna (2021) del staggered – Dif-in-Dif (Diferencias en Diferencias). Además, también se realiza un análisis descriptivo espacial y diagramas aluviales, que estudian el comportamiento de una variable a lo largo del tiempo y geográficamente.

Hallazgos: Los resultados obtenidos reflejan una mejora de la calidad del agua a lo largo del periodo analizado, así como la efectividad de la política de construcción de EDARs sobre la reducción de contaminantes de las aguas residuales y por lo tanto un incremento en el cumplimiento de la Directiva de Aguas Residuales.

- Evaluación de Contribución. Evolución de la calidad de las aguas residuales: Se evidencia una mejora en el cumplimiento de la Directiva de Agua durante los 8 años analizados para los parámetros de contaminación analizados, con un aumento del número de EDARs que cumplen los criterios de la Directiva Europea de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales.
- La evaluación de impacto muestra efectos estadísticamente relevantes de los programas FEDER evaluados en los parámetros que analizan la contaminación de demanda de oxígeno y sólidos en el agua. Este resultado implica que, tras su participación en el programa, las poblaciones que construyen o mejoran una EDAR, aumentan la calidad de sus aguas residuales de manera significativa lo que permite reducir la probabilidad de incumplimiento de la directiva de agua.

Recomendaciones: Con los hallazgos previos, las recomendaciones que se establecen son las siguientes.

- Escalamiento del programa: Considerando la importancia ambiental de este tipo de inversiones y los buenos resultados detectados en las evaluaciones, es recomendable continuar con este tipo de inversiones en el futuro.
- Generación de evidencia más detallada. descomposición de los análisis, realizando estudios desagregados a nivel regional, tipología de zona, que permitan obtener evidencias heterogéneas y así mejorar la toma de decisiones futura.
- Aumentar la focalización del programa: Utilización de las bases de datos existentes para la creación de mecanismos de alerta que indiquen el deterioro de la calidad de las aguas residuales. Estos resultados permitirían detectar aquellas poblaciones con problemas de calidad en el agua, y por lo tanto, prioritarias para realizar futuras inversiones en depuración de aguas residuales.

1. INTRODUCCION: CONTEXTO, OBJETIVOS Y METODOLOGIAS DE EVALUACION

Resumen de la sección:

En este informe se recogen los resultados del estudio de evaluación de impacto de la inversión FEDER en el cumplimiento de los hitos de la Directiva Europea sobre el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas, evaluación que se encuentra dentro del Plan de Evaluación Común de FEDER del periodo 2014-2020.

Para determinar el impacto que las inversiones FEDER han tenido sobre la calidad de las aguas residuales y el posterior cumplimiento de la Directiva Europea, se realizan dos estudios:

- *Un análisis de contribución. Estudio de la evolución de la calidad del agua en España, analizando la existencia de diferentes tipos de contaminantes en las aguas residuales.*
- *Un análisis de atribución: Evaluación de impacto que determine en qué medida la realización de inversiones en EDARs permite mejorar la calidad de las aguas, y por lo tanto, aumenta la probabilidad de cumplir los criterios de calidad de agua establecidos en la Directiva de Agua Residuales.*

Para estos estudios se utiliza información pública, principalmente del Ministerio de Transición Ecológica y Reto demográfico, la Dirección General de FEDER en el Ministerio de Hacienda y también de otros organismos como el Instituto de Estadística (INE) o el Servicio Público de Empleo (SEPE) e información georreferenciada del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

1.1. ANTECEDENTES

En este informe se recogen los resultados del estudio de evaluación de impacto de la inversión FEDER en el cumplimiento de los hitos de la Directiva de sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Este trabajo es el resultado del encargo realizado al Instituto de Estudios Fiscales existente en el Plan de Evaluación Común de FEDER del periodo 2014-2020, establecida como evaluación obligatoria (identificador de la evaluación: ES-005-Sect-O).

El objetivo de la evaluación es determinar la contribución de la inversión FEDER al cumplimiento de la Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, así como presentar propuestas que permitan una mejora del diseño y ejecución de los programas analizados. Para ello, se establecen como principales acciones las siguientes:

- **Un análisis de contribución:** Un Estudio sobre la evolución de la calidad de las aguas residuales en España, considerando de manera simultánea todos los posibles factores que influyen en la evolución de la calidad de las aguas, donde el programa FEDER es una más de estas causas, analizando la existencia de diferente tipo de contaminantes en el agua.
- **Un análisis de atribución:** La realización de una evaluación de impacto, utilizando métodos de contrafactuales, que aísle el efecto del programa estudiado, y que permita determinar en qué medida la realización de inversiones en plantas de tratamiento de aguas residuales permite mejorar la calidad de las aguas, y por lo tanto, aumentar la probabilidad de cumplir los criterios de calidad de agua establecidos en la Directiva Europea de Agua Residuales.

1.2. CONTEXTO

En España, la cantidad y calidad de los recursos hídricos está cada vez más afectada por los desarrollos socioeconómicos y el cambio climático, que unido al crecimiento urbano, han generado un efecto notable en el consumo de agua, ya que este elemento no solo es un recurso natural sino también un receptor de impactos ambientales. Este deterioro de la calidad del agua se debe en gran medida a los vertidos de las aglomeraciones urbanas, relacionados con la alta densidad de población, especialmente cerca de la costa que aumentan la carga contaminante, siendo cada vez más necesario tratar las aguas residuales antes de su vertido. En consecuencia, la reutilización de las aguas residuales es una solución sostenible y de largo plazo al problema de la escasez de agua (Norton-Brandao et al, 2013), siendo necesario especialmente en las grandes ciudades con el fin de reducir la cantidad de contaminantes en el agua usada vertida al medio ambiente (Lofrano y Brown, 2010).

Considerando el impacto de las aguas residuales sobre el medio ambiente, el tratamiento de estas aguas y la eliminación adecuada de los diferentes contaminantes producidos para tener aguas de calidad es fundamental desde el punto de vista de la seguridad ambiental como indican Qu et al (2016) y Choudri et al (2018), convirtiéndose en un objetivo esencial de la política de la Unión Europea. En la Directiva 91/271/CEE se planteó como objetivo la protección del medio ambiente de los efectos negativos de los vertidos de las aguas residuales y establece una serie de medidas que los países han de adoptar para garantizar que este tipo de aguas urbanas reciban un tratamiento adecuado antes de su vertido.

Las Plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR) juegan un papel fundamental en el mantenimiento de la calidad del agua y la recuperación de estos recursos hídricos, por lo que existe un creciente interés a la hora de analizar su desempeño. Estos análisis pueden tener dos enfoques, uno más cercano a la eficiencia, donde se comparan los costes que tienen, como los consumos eléctricos, y la producción lograda, relativa al volumen de agua mejora. La otra alternativa de desempeño es más de eficacia, y está focalizada en el impacto ambiental que suponen la utilización de las EDARs, lo que implica centrarse más en el resultado buscado por este tipo de inversiones, siendo uno de los principales beneficios del tratamiento de aguas residuales el evitar los costes de reparar la contaminación y el riesgo de que los municipios, las industrias, los agricultores y la industria turística utilicen agua contaminada. Desde esta perspectiva, queda claro que la mejora ambiental es uno de los factores que justifican la importancia de analizar la eficiencia y productividad de las EDAR (Laukkanen y Huhtala, 2008, Van der Veeren y Tol, 2001).

1.3. OBJETIVO

El estudio pretende realizar un análisis de la evolución de la calidad del agua residual en España, prestando especial atención a la actividad desarrollada por el FEDER en apoyar la inversión en la construcción y mejora de EDARs durante el periodo 2014-2020, para formular una serie de recomendaciones y propuestas que permitan avanzar en la inversión en estas infraestructuras.

El análisis llevado a cabo se ha organizado en torno a dos secciones:

- sección 1: Análisis de contribución. En este primer bloque se analiza la calidad del agua, estudiando la existencia de diferente tipo de contaminantes en las aguas residuales de las poblaciones españolas. Este examen permite contestar a la pregunta sobre la cantidad de población beneficiada por mejoras en la depuración de agua planteada en la ficha del Plan de evaluación.

- sección 2: Análisis de atribución: La realización de una evaluación de impacto que determine en qué medida la realización de inversiones en EDARs permite mejorar la calidad de las aguas, y por tanto, aumentar la probabilidad de cumplir los criterios de calidad de agua establecidos en la Directiva Europea sobre el tratamiento de Aguas Residuales. Este estudio da respuesta a la pregunta de evaluación sobre cual hubiera sido la calidad del agua, y el posterior cumplimiento de la Directiva Europea de Agua, de las poblaciones que invirtieron en la instalación de plantas residuales en el caso de no haber realizado esta inversión.

1.4. SISTEMAS DE INFORMACION Y METODOLOGIA DE ANALISIS

Las metodologías para llevar a cabo el trabajo han sido fundamentalmente de naturaleza cuantitativa, empleando bases de datos existentes en la Administración Pública Española, y aplicando técnicas cuantitativas adecuadas a la pregunta de evaluación que se desea responder y la información disponible.

Las fuentes de información empleadas son:

- Análisis de Contribución: Base de datos de “estadísticas de depuradoras de aguas residuales urbanas” del Ministerio de Transición Ecológica y Reto demográfico para el periodo 2013-2021.
- Análisis de Atribución: Además de la base de datos anterior de depuradoras, información del fichero de operaciones de FEDER en el periodo 2014-2020, e información del Instituto Nacional de Estadística (INE) y del Servicio Público de Empleo (SEPE) y el Instituto Geográfico Nacional, a nivel municipal para el periodo 2013-2021.

Los métodos de análisis utilizados son:

- Análisis de Contribución: Calculo de tablas de contingencia, estadísticas descriptivas, mapas espaciales y Gráficos aluviales y Sankey.
- Análisis de Atribución: Método de estimación de evaluación de impacto de Staggered dif-in-dif de Callaway SantAnna (2021).

1.5. ESTRUCTURA DE INFORME

Después de esta breve introducción sobre los antecedentes, objetivos y aspectos metodológicos de la evaluación, el contenido del informe se estructura en torno a las dos secciones mencionadas previamente.

La Sección 2 analiza la evolución de la calidad del agua residual en España.

La sección 3 muestra los resultados de la evaluación de impacto de las depuradoras sobre la calidad del agua y el cumplimiento de la Directiva Europea de aguas residuales.

La sección 4 contiene las conclusiones y recomendaciones.

2. ANALISIS DE CONTRIBUCION DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL Y CUMPLIMIENTO DE LA DIRECTIVA EUROPEA DE AGUA.

Resumen de la sección:

En esta sección se realiza un análisis del grado de cumplimiento en España de la Directiva Europea sobre el Tratamiento de Agua Residuales con información obtenida del Ministerio de Transición Ecológica y Reto demográfico sobre depuradoras. Los principales hallazgos son los siguientes:

Información disponible: La mayoría de depuradoras informan de manera regular de los parámetros de contaminación asociados a la demanda de oxígeno en el agua (DBO5 y DQO) – el 90% de las 1.995 depuradoras analizadas ofrecen información - y sólidos suspendidos en el agua – con el 73% de depuradoras informantes. Sin embargo, solo entre un 10% al 17% de las casi 2.000 depuradoras analizadas informan sobre la cantidad de fósforo y nitrógeno en el agua.

Evaluación de Contribución. Evolución de la calidad de las aguas residuales: Se evidencia una mejora en el cumplimiento de la Directiva Europea de Agua durante los 8 años analizados en los 5 parámetros de contaminación analizados. Esta mejora en el cumplimiento se da tanto en términos absolutos, con un aumento del número de depuradoras que cumplen los criterios de la directiva, así como en términos relativos, analizando la evolución del porcentaje de depuradoras que cumplen respecto al total de depuradoras que suministran información sobre los diferentes parámetros de contaminación de las aguas residuales.

La siguiente tabla ofrece un resumen sobre la evolución del número (y porcentaje) de depuradoras que cumplen con los criterios establecidos en la Directiva de Aguas Residuales durante el periodo 2013 a 2021.

Tabla Resumen 1. Análisis de la evolución en la notificación de información y el cumplimiento de la directiva de agua en los diferentes parámetros entre los años 2013 y 2021.

parámetro contaminación		Informan (A)	cumplen (B)	No cumplen	% cumplen del total informan (B/A)
DBO5	año 2013	1793	1402	391	78.2%
	año 2021	1814	1603	211	88.4%
	Diferencia		201		10.2%
DQO	año 2013	1793	1423	370	79.4%
	año 2021	1813	1612	201	88.9%
	Diferencia		189		9.5%
Sólidos	año 2013	1469	1121	348	76.3%
	año 2021	1266	1148	118	90.7%
	Diferencia		27		14.4%
Fosforo	año 2013	109	84	25	77.1%

<i>parámetro contaminación</i>		<i>Informan (A)</i>	<i>cumplen (B)</i>	<i>No cumplen</i>	<i>% cumplen del total informan (B/A)</i>
	<i>año 2021</i>	352	302	50	85.8%
	<i>diferencia</i>		218		8.7%
<i>Nitrógeno</i>	<i>año 2013</i>	47	38	9	80.9%
	<i>año 2021</i>	214	193	21	90.2%
	<i>diferencia</i>		155		9.3%

2.1. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO DE LA SECCIÓN

En esta sección se realiza un análisis del grado de cumplimiento de la Directiva Europea sobre Tratamiento de Aguas Residuales con información obtenida de las depuradoras existentes en nuestro país. Comenzamos presentando las principales características de la Directiva Europea. A continuación, con la información del Ministerio de Transición Ecológica del periodo 2013-2021 se analiza, mediante tablas de contingencia y estadísticos descriptivos la evolución que se ha producido en el cumplimiento de los criterios establecidos en la Directiva Europea, a través de las mediciones de diferentes parámetros asociados a la contaminación de las aguas residuales realizadas en las depuradoras en nuestro país.

La Directiva Marco Europea del Agua (DMA)¹ nace como respuesta a la necesidad de unificar las actuaciones en materia de gestión de agua en la Unión Europea. El objetivo de la Directiva sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas² es proteger al medio ambiente de los efectos negativos de los vertidos de las mencionadas aguas residuales, estableciendo las medidas necesarias que deben adoptar los países miembros de la UE para garantizar que las aguas residuales urbanas sean tratadas correctamente antes de su vertido. Para ello, la Directiva establece dos obligaciones claramente diferenciadas. En primer lugar, las aglomeraciones urbanas³ deberán disponer, según los casos, de sistemas colectores para la recogida y conducción de las aguas residuales y, en segundo lugar, se establecen distintos tratamientos a los que deberán someterse dichas aguas antes de su vertido a las aguas continentales o marinas. Es precisamente en este segundo aspecto donde se centra esta evaluación. Los parámetros que permiten valorar la calidad del agua, y por lo tanto el cumplimiento de la Directiva de agua, están relacionados con la cantidad de oxígeno en el agua (parámetros DBO5 y DQO), la cantidad de sólidos suspendidos en el agua y la cantidad de fósforo y nitrógeno en el agua.

Con la información disponible en las “Estadísticas de depuradoras de aguas residuales urbanas” del Ministerio de Transición Ecológica y Reto demográfico se presenta un análisis exploratorio

¹ En el Anexo 1 se ofrecen más detalles sobre la Directiva de Agua y los criterios de cumplimiento.

² La transposición de la Directiva 91/271/CEE al Derecho español, se realizó a través del Real Decreto-Ley 11/1995, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. En este RD-Ley se establecen los plazos para sistemas colectores y depuración, mientras que el Real Decreto 509/1996, contiene los valores que deben cumplir los vertidos a la salida de la EDAR, el criterio de conformidad y los criterios para declarar zonas sensibles.

³ La Aglomeración urbana es la zona cuya población y/o actividades económicas presenten concentración suficiente para la recogida y conducción de las aguas residuales urbanas a una instalación de tratamiento de dichas aguas o a un punto de vertido final.

para determinar la evolución en el cumplimiento de la DMA a lo largo del periodo 2013 a 2021. Para ello, se emplea la información relativa a si en esa población la calidad del agua cumple (o no) la legislación de la Directiva para los diferentes parámetros analizados (DBO5, DQO, sólidos, fósforo, nitrógeno), con los siguientes posibles valores de respuesta: F=Incumple con la DMA, NA=Sin datos, NR=No relevante, P=Cumple con la DMA. A continuación, se presenta el análisis, con información sobre el número de EDARs en los años 2013 (inicio del estudio) y 2021 (final del estudio) en cada uno de los posibles valores, que reflejaría si se han producido mejoras en la calidad de las aguas residuales en España.

2.2. HALLAZGOS DE CUMPLIMIENTO DE LA DMA SOBRE LA CANTIDAD DE OXIGENO EN AGUA

De las 1995 EDARs de las que se tienen información, el primero de los años – 2013 -, 1.402 EDARs cumplían con el criterio DBO5 mientras que en 2021 aumentan a 1.603, lo que supone un crecimiento en el cumplimiento de la directiva del 14,3% a lo largo del periodo. Además, se observa que, en 2021, había 211 EDARs que no cumplían con los valores establecidos en la DMA, lo que supone el 10% de las EDARs analizadas, y de las cuales, 153 tampoco cumplían en 2013 (un 7% del total).

Por lo que se refiere al parámetro asociado a la demanda de oxígeno – DQO- , las EDARs que cumplen el criterio establecido en la Directiva en 2013 son 1.423, mientras que en 2021 aumentan a 1.612, lo que supone un crecimiento en el cumplimiento de la DMA del 13,3%. Además, para el año 2021, no se dispone de información, o no resulta relevante en 163 y 18 EDARs respectivamente, el 9% del total. En 2021, de las 1995 EDARs, no cumplen la legislación un 10% del total, mientras que en el año 2013 el número de incumplidoras era de 370, lo que supone el 18% del total.

Tabla 1: Número de EDARs en función del valor de conformidad con la DMA en el parámetro DBO5 (izqda.) y DQO (dcha) para los años 2013 y 2021⁴.

Año2013	Año 2021				
	F	NA	NR	P	Total
F	153	19	9	210	391
NA	3	136	1	62	202
P	55	8	8	1331	1402
Total	211	163	18	1603	1995

Año2013	Año 2021				
	F	NA	NR	P	Total
F	151	19	7	193	370
NA	3	136	1	62	202
P	47	9	10	1357	1423
Total	201	164	18	1612	1995

2.3. HALLAZGOS DE CUMPLIMIENTO DE LA DMA SOBRE LOS SOLIDOS EN EL AGUA

Por lo que se refiere a la cantidad de sólidos en el agua, en el año 2013 las depuradoras que cumplían con el criterio de la DMA eran 1.121, aumentando hasta 1.149 en 2021, implicando un

⁴ Al disponer de información georreferenciada, en el Anexo 8 se muestran los mapas, empleando información espacial, del año 2021, sobre el cumplimiento de la directiva de agua para los 5 diferentes parámetros considerados, los municipios en los que se ha realizado una inversión en depuradoras, y la población y el volumen de carga entrante en la EDAR.

incremento de 2,5% en el periodo. Además, 118 de las 1995 EDARs no cumplen en 2021 con los criterios establecidos (5,9% del total), mientras que este valor se situaba en 348 en 2013, lo que suponía un 17,4% del total de depuradoras analizadas.

Tabla 2: Numero de EDARs en función del valor de conformidad con la DMA del total sólidos para los años 2013 y 2021.

V2013	V2021				
	F	NA	NR	P	Total
F	90	6	119	133	348
NA	0	143	34	55	232
NR	1	10	206	77	294
P	27	3	207	884	1121
Total	118	162	566	1149	1995

2.4. HALLAZGOS DE CUMPLIMIENTO DE LA DMA EN LA CANTIDAD DE FOSFORO Y NITROGENO EN AGUA

En el cumplimiento del parámetro de fósforo en el agua, se observa que no existe, en general, obligación de reportar información sobre esta variable, ya que 82% de las EDARs no informan de esta medición (presentan valores NR y NA), y solamente 352 de las 1995 indican si cumplen o no cumplen con la DMA. De las que informan, solo 50 no presentan valores del parámetro conforme a la legislación, lo que supone un 14% del total de informantes, el 2,5% del total de EDARs. Por lo que respecta al análisis del cumplimiento de la cantidad de nitrógeno en el agua, se obtienen resultados similares a los del fósforo. Pocas EDARs reportan sobre el cumplimiento o no, 114 de las 1995, lo que supone solo el 5,7% del total, y de las que informan, 21 no presentan valores que son conformes a la legislación existente, lo que supone el 18% que ofrecen valores, mientras que las restantes 1781 EDARs no ofrecen información.⁵

Tabla 3: Numero de EDARs en función del valor de conformidad con la DMA del parámetro de Fósforo (izqda.) y Nitrógeno (dcha) en los años 2013 y 2021.

Año2013	Año 2021						Año2013	Año V2021				
	F	NA	NR	P	Total			F	NA	NR	P	Total
F	5	0	6	14	25		F	3	0	1	5	9
NA	1	103	202	8	314		NA	1	100	211	2	314

⁵ Junto a esta información, para los años inicial y final del periodo de análisis, se complementa el estudio descriptivo con la dinámica que se ha producido a lo largo de los diferentes años de información disponible en lo relativo al valor que presenta el parámetro analizado (posibles valores F, P, NA, NR). Para ello empleamos un diagrama aluvial que permite identificar patrones y tendencias a lo largo del tiempo

NR	38	10	1308	216	1572		NR	17	9	1442	166	1634
P	6	0	14	64	84		P	0	0	18	20	38
Total	50	113	1530	302	1995		Total	21	109	1672	193	1995

Considerando la información de las tablas anteriores, a continuación se ofrece una síntesis sobre la evolución en el cumplimiento de la Directiva Europea de Agua en los diferentes parámetros de contaminación analizados a lo largo del periodo 2013 – 2021, indicando el número de EDARs que ofrecen información en ese año, y si cumplen o no con el criterio establecido en la DMA.

Tabla 4: Análisis de la evolución en la notificación de información y el cumplimiento de la directiva de agua en los diferentes parámetros entre los años 2013 y 2021.

		Informan (A)	cumplen (B)	no cumplen	% cumplen del total (B/A)
DBO5	año 2013	1793	1402	391	78.2%
	año 2021	1814	1603	211	88.4%
	diferencia		201		10.2%
DQO	año 2013	1793	1423	370	79.4%
	año 2021	1813	1612	201	88.9%
	diferencia		189		9.6%
Solidos	año 2013	1469	1121	348	76.3%
	año 2021	1266	1148	118	90.7%
	diferencia		27		14.4%
Fosforo	año 2013	109	84	25	77.1%
	año 2021	352	302	50	85.8%
	diferencia		218		8.7%
Nitrógeno	año 2013	47	38	9	80.9%
	año 2021	214	193	21	90.2%
	diferencia		155		9.3%

3. ANALISIS DE ATRIBUCION: EVALUACION DE IMPACTO DE LAS DEPURADORAS SOBRE EL CUMPLIMIENTO DE LA DIRECTIVA DE AGUA.

Resumen de la sección:

En esta sección se realiza una evaluación de impacto sobre el efecto que tiene la construcción y renovación de EDARs en la calidad del agua y su posterior cumplimiento de la DMA. Los principales hallazgos son los siguientes:

En la evaluación estática – asume que el efecto del programa es uniforme en los años siguientes a completar la EDAR – se observan impactos estadísticamente relevantes del programa evaluado en 3 tipos de parámetros que analizan la contaminación: demanda de oxígeno (DBO5 y DQO) y sólidos suspendidos en el agua. Este resultado implica que, tras su participación en el programa, las poblaciones que construyen o mejoran una EDAR, incrementan la calidad de sus aguas residuales de manera significativa lo que permite reducir la probabilidad de incumplimiento de la DMA. Para los parámetros de fósforo y nitrógeno no se dispone de suficientes datos que permitan obtener estimaciones del impacto creíbles y robustas.

Tabla Resumen 2. Estimación del impacto de construir o mejorar una EDAR sobre la probabilidad de incumplimiento de la DMA. Efecto constante a lo largo del tiempo tras finalizar la infraestructura.

parámetro contaminación	DBO5	DQO	Sólidos	Fosforo	Nitrógeno
Estimación impacto	-0.670*	-0.649*	-0.616*	0.304	0.51

Nota: * indica que es estadísticamente significativo

En la evaluación dinámica – en la que es posible detectar impactos distintos a medida que pasa el tiempo desde el momento en el que se construyó la EDAR – las estimaciones confirman los resultados anteriores del caso estático. Un impacto significativo de la realización de obras en EDARs sobre el incumplimiento de la directiva, reduciendo la probabilidad de que se produzca dicho incumplimiento. Además, a medida que aumentan los periodos desde que finalizó la obra, la probabilidad de incumplir se va reduciendo paulatinamente.

3.1. DESCRIPCION DEL CONTENIDO DE LA SECCIÓN

En esta sección se realiza una evaluación del impacto que la construcción o mejora de la EDAR tiene sobre la calidad de las aguas residuales. La evaluación de impacto consiste en conocer qué cambios se producen en la calidad de aguas residuales (y el cumplimiento de la DMA) debido a la construcción o mejora de una EDAR en esa población. Para ello, se utilizan como variable de resultado del impacto, los 5 parámetros de contaminación considerados en la sección anterior que permitan medir el grado de cumplimiento con la DMA y se emplean técnicas de evaluación e impacto contrafactual, que permiten medir la relación causal entre el programa de construcción de EDAR y la variable objeto de estudio a través de la comparación de las poblaciones que participan en el programa (construyen EDARs - grupo de tratamiento) con otras, de características similares, que no participan y no construyen este tipo de infraestructuras (grupo de control).

Se proponen dos posibles aproximaciones en el análisis dependiendo de si se considera que los impactos de un programa se mantienen constantes en el tiempo (estático) o si existe la posibilidad de que el impacto cambie con el paso del tiempo (dinámico).

- Evaluación de impacto estática: En primer lugar, se analiza el impacto que la construcción o mejora de una EDAR en una población ha supuesto en el aumento en la probabilidad de cumplimiento de la DMA en los años siguientes a finalizar la infraestructura. Esto es, se analiza si la participación en el programa FEDER en EDARs mejora la calidad del agua residual y por lo tanto incrementa la probabilidad de cumplimiento de la directiva de agua, respecto a poblaciones similares que no participan en el programa.
- Evaluación de impacto dinámica: En segundo lugar, se estudia el efecto diferencial del programa a medida que pasa el tiempo. Al disponer de un periodo de 8 años, se analiza si el impacto de la construcción de una EDAR tiene un efecto uniforme en los años futuros, o por el contrario, existen cambios en el impacto del programa en el corto plazo o largo plazo. Para ello se incorpora la idea de efectos dinámicos, lo que implica que a medida que pasa el tiempo desde el momento en el que se realizó la infraestructura sus efectos pueden variar. Mientras que en la primera evaluación se asume un impacto uniforme para los siguientes años tras construir la depuradora, en este enfoque se obtienen impactos diferenciados en función del año posterior a finalizar la obra.⁶

3.2. HALLAZGOS DE LA EVALUACION DE IMPACTO ESTATICA

En esta sección se presentan las estimaciones del impacto que la construcción de una EDAR tiene sobre el cumplimiento de los criterios establecidos en la DMA. Para ello se considera que este impacto se comporta de manera uniforme durante los años siguientes a realizarse la infraestructura, no admitiendo cambios en los efectos sobre la calidad del agua a medida que el tiempo aumenta desde la finalización de la EDAR.

La variable de resultados sobre la que se mide el impacto del programa es el “incumplimiento con la directiva de agua” para cada una de las depuradoras de agua que informan sobre los 5 diferentes parámetros que miden la contaminación en las aguas residuales. Por lo tanto, es una variable que toma el valor 1 si esa depuradora no cumple con ese parámetro en un determinado año, y 0 cuando cumple.

En la evaluación se comparan poblaciones que realizaron una inversión en EDARs, construcción de una nueva o mejora de una existente, respecto a las poblaciones que no invirtieron en depuradoras (grupo de control) y que comparten una serie de características similares, es decir, con sus gemelos estadísticos. Estos resultados se expresan en puntos porcentuales y un valor negativo significa que las poblaciones con una inversión en depuradoras presentan menor probabilidad de incumplir la DMA, debido a una mejora en la calidad de las aguas, en comparación a la situación que hubiera tenido si no hubiera llevado a cabo la infraestructura. En la siguiente tabla se presenta las estimaciones de la ecuación (A5.1) del Anexo 5, utilizando la aproximación de Callaway y SantAnna (2021)⁷

⁶ En el Anexo 5 se describe el método de estimación de evaluación de impacto de Staggered dif-in-dif de Callaway SantAnna (2021 dif-in-dif) utilizado en los análisis.

⁷ De forma alternativa, en el Anexo 6 se ofrece las estimaciones suponiendo el efecto del tratamiento sea constante, con la aproximación de TWFE (Two Way Fixed Effects).

Tabla 5: Estimación del impacto de construir o mejorar depuradora sobre el incumplimiento de la directiva de aguas residuales. Efecto constante después de finalizar la infraestructura

Parámetro contaminación	DBO5	DQO	Solidos	Fósforo	Nitrógeno
Estimación impacto	-0.670*	-0.649*	-0.616*	0.304	0.51

Nota: * indica que es estadísticamente significativo

Los resultados de la Tabla muestran que existen impactos estadísticamente relevantes del programa evaluado en 3 tipos de parámetros que analizan la contaminación. Por lo que se refiere a los parámetros de contaminación asociados a la demanda de oxígeno (DBO5 y DQO) y sólidos en el agua, tras su participación en el programa, las poblaciones que construyen o mejoran una EDAR presentan una probabilidad de incumplimiento de la directiva de agua 60 puntos porcentuales menor que las poblaciones con características similares que no invirtieron, por lo que el programa de inversión FEDER en estas infraestructuras está siendo efectivo. Sin embargo, no se observan efectos significativos en una reducción del incumplimiento de la DMA para los parámetros de fosforo y nitrógeno, debido principalmente por la poca muestra de datos disponible.

3.3. HALLAZGOS DE LA EVALUACION DE IMPACTO DINAMICA

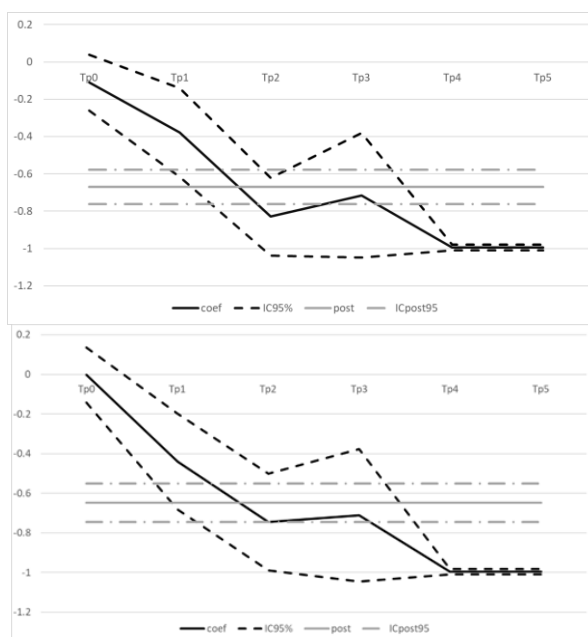
En esta sección se analiza si el impacto de la construcción de una EDAR presenta cambios a medida que pasa el tiempo desde el momento en el que se realizó la infraestructura. En las siguientes figuras se muestran las estimaciones del impacto de la construcción de una EDAR sobre el cumplimiento de la DMA en los 5 parámetros analizados (DBO5, DQO, solidos, nitrógeno, fosforo), cuando se considera un impacto uniforme en los años siguientes a completar la obra de la depuradora – línea gris, y sus intervalos de confianza al 95% en discontinuo, resultados dados en la Tabla 5.

Por otra parte, también se estima el impacto de la intervención pública de forma separada para cada uno de los años posteriores a finalizar la obra, capturando el efecto del programa en la variable de resultado en el momento siguiente de finalizar la inversión, dos momentos posteriores, y así sucesivamente, mostrando el impacto promedio estimado en ese año, dado por la línea continua de color negro, y su intervalo de confianza “IC95%”⁸.

Si el signo del parámetro estimado es negativo implica que ese regresor influye negativamente en que la variable dependiente tome el valor 1, en nuestro caso que incumpla la DMA. Por lo tanto, un signo negativo implicará una reducción en la probabilidad de incumplimiento de la directiva, lo que supondrá que el programa ha sido exitoso.

⁸ La importancia de los Intervalos de Confianza (IC) está en que determinan si el valor del impacto calculado se le puede considerar lo suficientemente distinto de cero que permite establecer que el efecto estimado es estadísticamente significado y por lo tanto, que la política tiene efecto. Si los intervalos de confianza contienen el valor cero, eso implica que el parámetro estimado no es estadísticamente significativo y que por lo tanto no se observa impacto. Si los IC no contienen el cero entonces si se observa impacto estadísticamente relevante.

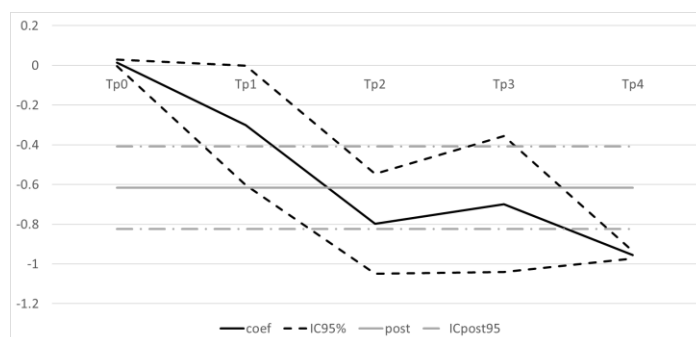
Figura 1: Estimación del impacto de la construcción y mejoramiento de una EDAR sobre el cumplimiento de la DMA en el parámetro DBO5⁹ (izqda.) y DQO (dcha)



De manera similar a la tabla 5, se observa un impacto significativo del programa en la reducción de la probabilidad del incumplimiento de la DMA en el parámetro DBO5, dado que tiene una estimación negativa y con intervalos de confianza que no contemplan el cero. Por lo que se refiere al impacto analizado periodo a periodo, el efecto de la realizar obras en una EDAR es estadísticamente significativo, y con valor negativo, a partir del 1º año de realizar la obra, intensificando la magnitud del efecto a medida que pasa el tiempo.

La figura relativos a DQO muestran resultados muy similares a los presentados para la variable anterior de DBO5. Por un lado, un impacto significativo de la realización de obras en EDARS sobre el incumplimiento de la DMA, reduciendo la probabilidad de que esto ocurra. Además, a medida que aumentan los periodos desde que finalizó la obra, se tiene un aumento en la reducción en el incumplimiento significativo en términos estadísticos.

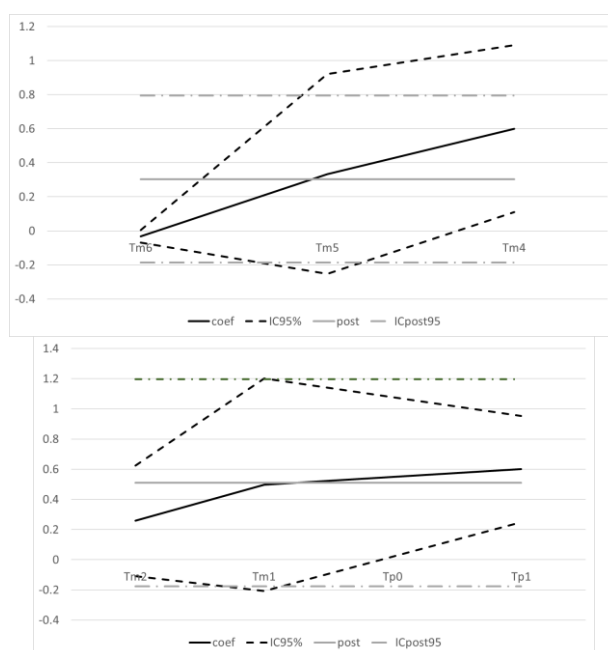
Figura 2: Estimación del impacto de la construcción y mejoramiento de una EDAR sobre el cumplimiento de la DMA en el parámetro Solidos en el agua.



⁹ Dado que la variable dependiente del modelo toma valores 0, 1, indicando el 1 que esa EDAR está incumpliendo la directiva de agua para ese parámetro de calidad, y 0 la situación contraria, el modelo que se empleará en los distintos cálculos será un Logit.

Los mismos resultados anteriores son extrapolables al análisis del efecto que la construcción de una EDAR tiene sobre el incumplimiento de la DMA respecto a los sólidos suspendidos en el agua. Estas inversiones tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la reducción de la probabilidad de incumplimiento de la directiva cuya intensidad aumenta a medida que pasa el tiempo desde la finalización de la infraestructura.

Figura 3: Estimación del impacto de la construcción y mejoramiento de una EDAR sobre el cumplimiento de la DMA en el parámetro Fosforo (izqda.) y Nitrógeno (dcha)



Por lo que se refiere al impacto que tienen las EDARs sobre el incumplimiento de la directiva de agua en lo relativo a fósforos y nitrógenos, la figura muestra resultados muy similares. A diferencia de las anteriores, en estos dos casos no se logra un efecto estadísticamente significativo de la realización de obras en las EDARs sobre estos dos parámetros, ya que el intervalo de confianza contiene el cero. Como se ha mencionado con anterioridad, este resultado viene determinado por un problema de potencia estadística, ya que para el análisis de estas dos variables no se dispone de mucha información, dado que muchas de las EDARs no están obligadas a reportar sobre estos valores. Por lo tanto, el hecho de no observar impacto no es debido a que el programa no resulte eficaz sino al tamaño de muestra de datos insuficiente para realizar los análisis.

4. HALLAZGOS Y RECOMENDACIONES

Este trabajo analiza si las inversiones FEDER en EDARs durante el periodo 2014-2020 han sido efectivas a la hora de aumentar la calidad de las aguas residuales y por lo tanto el cumplimiento de los hitos de la Directiva de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales. Se realiza una evaluación de impacto que analiza el impacto que la construcción y renovación de EDARs tiene sobre la calidad del agua, analizando distintos parámetros que miden la contaminación. Con información de diferentes bases de datos públicas, se emplea la aproximación del staggered-dif-in-dif para evaluar el impacto del programa.

Los resultados obtenidos reflejan, por un lado, una mejora de la calidad del agua a lo largo del periodo analizado y, por otra parte, la efectividad de la política de construcción de EDARs sobre la reducción de contaminantes de las aguas residuales y por lo tanto un incremento en el cumplimiento de la Directiva de Aguas Residuales.

- Evaluación de Contribución. Evolución de la calidad de las aguas residuales: Se evidencia una mejora en el cumplimiento de la Directiva de Agua durante los 8 años analizados para los parámetros de contaminación analizados, con un aumento del número de EDARs que cumplen los criterios de la directiva.
- La evaluación de impacto muestra efectos relevantes del programa FEDER de construcción y renovación de EDARs en los parámetros que analizan la contaminación de las aguas relativos a la demanda de oxígeno y sólidos en el agua. Este resultado implica que, tras su participación en el programa, las poblaciones que construyen o mejoran una depuradora tienen aguas residuales de mayor calidad, lo que permite reducir la probabilidad de incumplimiento de la directiva de agua.

Considerando los hallazgos anteriores, las recomendaciones que se establecen son las siguientes.

- Escalamiento del programa: Teniendo en cuenta la importancia de las políticas ambientales y los buenos resultados detectados en las evaluaciones, es recomendable continuar con este tipo de inversiones en el futuro.
- Generación de evidencia más detallada. descomposición de los análisis, realizando estudios desagregados a nivel regional, y por tipos de zona, que permitan obtener evidencias heterogéneas y así mejorar la toma de decisiones futura.
- Aumentar la focalización del programa: Utilización de las bases de datos existentes para la creación de mecanismos de alerta que indiquen el deterioro de la calidad de las aguas residuales. Estos resultados permitirían detectar aquellas poblaciones con problemas de calidad en el agua, y por lo tanto, prioritarias para realizar futuras inversiones en depuración de aguas residuales

BIBLIOGRAFIA

Callaway, B. and Pedro H. C. SantAnna (2021) "Difference-in-Differences with multiple time periods," *Journal of Econometrics*, 225 (2), 200–230.

Choudri BS, Charabi Y, Ahmed M. Health effects associated with wastewater treatment, Reuse and Disposal. *Water Environ Res.* 2018;90(10):1759–76.

Laukkanen, M., & Huhtala, A. (2008). Optimal management of a eutrophied coastal ecosystem: balancing agricultural and municipal abatement measures. *Environmental and Resource Economics*, 39(2), 139-159.

Lofrano, G., & Brown, J. (2010). Wastewater management through the ages: A history of mankind. *Science of the Total Environment*, 408(22), 5254-5264.

Moral-Arce, I, & Gorriti, M. (2014) Impact evaluation of wastewater treatment Works by eu funds on the wáter quality in Spain (2007-2010). Documento de Trabajo nº 8/2014, Instituto de Estudios Fiscales. Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas

Norton-Brandao D, Scherrenberg SM, van Lier JB. (2013) Reclamation of used urban waters for irrigation purposes—a review of treatment technologies. *J Environ Manag.*122:85–98

Qu X, Zhao Y, Yu R, Li Y, Falzone C, Smith G, Ikehata K. Health effects associated with wastewater treatment, reuse, and disposal. *Water Environ Res.* 2016;88(10):1823–55.

Van der Veeren, R. J., & Tol, R. S. (2001). Benefits of a reallocation of nitrate emission reductions in the Rhine River Basin. *Environmental and Resource Economics*, 18, 19-41.

ANEXO 1: LA DIRECTIVA DE SANEAMIENTO Y DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES

La Directiva Marco Europea del Agua (DMA) nace como respuesta a la necesidad de unificar las actuaciones en materia de gestión de agua en la Unión Europea. El objetivo de la Directiva sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas es proteger al medio ambiente de los efectos negativos de los vertidos de las mencionadas aguas residuales. Los criterios que utiliza la Directiva para determinar el tipo de tratamiento de agua¹⁰ son, por un lado, la carga contaminante de la aglomeración, basándose en el número de habitantes equivalentes¹¹, y por otra parte, la mayor o menor sensibilidad de la zona en la que van a realizarse los vertidos.

Tabla A1.1: Parámetros de valoración de calidad del agua y método de medición.

Parámetro	Método de medición
DBO5	Cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias, consumen en 5 días durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Medida del oxígeno disuelto antes y después de 5 días a 20°C en una muestra de agua en oscuridad. Aplicación de inhibidor de la nitrificación
DQO	Demanda Química de Oxígeno. cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación de sustancias orgánicas del agua, medida sin filtrar ni decantar. Dicromato potásico
Sólidos	Sólidos suspendidos se componen de partículas relativamente grandes que enturbian el agua, medido mediante filtración, utilizando una membrana de filtrado o mediante centrifugación, y a continuación secado y pesaje.
Fósforo	Compuestos a base de fósforo y oxígeno principalmente, medido mediante espectrometría de absorción molecular.
Nitrógeno	Cantidad de nitrógeno total en el agua, medido en mg/l, mediante espectrometría de absorción molecular.

La evaluación de la calidad del agua en las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDARs) se realiza mediante diferentes parámetros: el DBO5 mide la demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días, el DQO, la demanda Química de Oxígeno, el total de sólidos, o la presencia de fósforos en las aguas, debido sobre todo a la presencia de detergentes, fertilizantes y otros productos químicos, y que ayuda al crecimiento excesivo de algas, así como los nitratos, que pueden ser tóxicos para la vida acuática y también pueden contaminar las fuentes de agua potable en concentraciones elevadas. Todos estos parámetros son indicadores de la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual y su capacidad para consumir oxígeno durante el proceso

¹⁰ El tratamiento primario de aguas residuales urbanas implica un proceso físico y/o químico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO 5 de las aguas residuales que entren se reduzca por lo menos en un 20 % antes del vertido y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca por lo menos en un 50 %, mientras que el Tratamiento secundario de aguas residuales urbanas implica un proceso que incluya, por lo general, un tratamiento biológico con sedimentación secundaria.

¹¹ Los habitantes-equivalentes se calcularán a partir del valor medio diario de carga orgánica biodegradable, correspondiente a la semana de máxima carga del año, sin tener en consideración situaciones producidas por lluvias intensas u otras circunstancias excepcionales.

de descomposición. La Tabla A1.1 ofrece un resumen de las variables que se valoran para determinar el grado de contaminación de las aguas y su método de medición.

Una vez definidos los parámetros que miden el grado de contaminación del agua, a continuación se establecen los valores máximos o requisitos que deben cumplir, tanto los vertidos como las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas, para que sean conformes a lo dispuesto en la Directiva 91/271/CEE aparecen descritos en las letras B y D del Anexo I de la Directiva. La Tabla A1.2 ofrece una muestra de estos valores.

Tabla A1.2: Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de depuración de aguas residuales urbanas mediante tratamiento secundario o más exigente cumplan la Directiva de agua.

Parámetro	Concentración		Porcentaje mínimo de reducción
DBO5 (a 20º C sin nitrificación)	25 mg/L O2		70-90 %
DQO	125 mg/L		75%
Total sólidos en suspensión	35 mg/L		90%
Población equivalente	10.000 a 100.000 he	> 100.000 he	
Fósforo total	2 mg /L P	1 mg/L P	80%
Nitrógeno total (mg/L N)	15 mg /L N	10 mg/L N	70 – 80%

Fuente: Directiva de Agua 91/271/CEE

El criterio de cumplimiento o conformidad de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas con arreglo a la normativa, queda establecido en función del número de muestras de agua realizadas¹² a lo largo del año cuyas concentraciones y/o reducciones de porcentaje en cada uno de los parámetros pertinentes reflejados en la Tabla A1.1 respetan los valores máximos establecidos en la Tabla A1.2. En el caso de que el número de muestras no conforme a esos valores sea como máximo el que aparece en la Tabla A1.3, entonces no satisface el parámetro y no cumplirá con los criterios de la Directiva de Agua.

Tabla A1.3: Número máximo permitido de muestras no conformes en función del total de muestras tomadas en un año.

Muestras tomadas en un año	Número máximo permitido de muestra no conformes	muestras tomadas en un año	Número máximo permitido de muestra no conformes
4 – 7	1	172-187	14
8 – 16	2	188-203	15

¹² El número mínimo anual de muestras en vertidos de instalaciones de depuración de aguas residuales urbanas que deben ser recogidas a intervalos regulares durante el año para considerar un muestreo representativo, será de 12 para tamaño de la instalación de 2.000<he<10.000 en primer año y 4 en los años años siguientes, 12 para 10.000<he<50.000, y 24 muestras para he>50.000.

Muestras tomadas en un año	Número máximo permitido de muestra no conformes	muestras tomadas en un año	Número máximo permitido de muestra no conformes
17-28	3	204-219	16
29-40	4	220-235	17
41-53	5	236-251	18
54-67	6	252-268	19
68-81	7	269-284	20
82-95	8/	285-300	21
96-110	9	301-317	22
111-125	10	318-334	23
126-140	11	335-350	24
141-155	12	351-365	25
156-171	13		

Fuente: Directiva de Agua 91/271/CEE

ANEXO 2: FUENTES DE INFORMACION PARA LA REALIZACION DE LOS ANALISIS E INTEGRACION DE LAS BASES DE DATOS

Para la realización de esta evaluación se han utilizado diferentes bases de datos. Por un lado, información de la variable de resultado, cumplimiento de la directiva de agua en los diferentes parámetros de calidad del agua analizada (DBO5, DQO, sólidos, nitrógeno, fósforo) obtenidos de la estadística sobre aglomeraciones urbanas y estaciones de depuradoras de aguas residuales urbanas del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. También, se utiliza información de la realización de inversiones en depuradoras utilizando el fichero de las operaciones FEDER durante el periodo de programación 2014 – 2020, y finalmente se incorpora información de otras fuentes auxiliares, como población del municipio, número de empresas existentes por sectores de actividad entre otras.

A2.1. Estadística de Estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, en su página web, ofrece información bianual (2013, 2015, 2017, 2019, 2021) sobre aglomeraciones urbanas y estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas. La información incluye tanto las aglomeraciones activas mayores o iguales a 2.000 habitantes equivalentes como algunas aglomeraciones menores, las estaciones depuradoras de aguas residuales y los puntos de vertido activos. Por lo que se refiere a los datos relativos de EDARs, cada año se tiene información de unas 2350 estaciones repartidas por todo el territorio español, de las siguientes características:

- Identificación de la EDAR, nombre, aglomeración donde se sitúa, municipio.
- Localización georreferenciada de la EDAR.
- El tipo de conexión a red de colectores. Valores: si conectada a colector / no conectada.
- Carga entrante y capacidad, medido en habitantes equivalentes.
- Tipo de tratamiento del agua (primario, secundario, más exigentes). Valores: Si / no
- Si la EDAR dispone de eliminación de fósforos, nitrógeno, tratamientos ultravioletas, cloración o con ozono, filtración con arena o microfiltración. Valores: si / no.
- Conformidad del tratamiento (de acuerdo a la directiva de agua) de los parámetros DBO5, DQO, total de sólidos, fosforo y nitrógeno en el agua. Valores: incumple, cumple, no relevante, sin dato.

A2.2. Fichero de operaciones de inversiones de FEDER 2014-2020

El fichero administrativo de operaciones de Fondos de la UE en el Ministerio de Hacienda español, gestionado por la Dirección General de Fondos Comunitarios, contiene información sobre los beneficiarios de los fondos europeos, fechas de transferencias y ejecución, importe económico del proyecto, tipo de ayuda, importe de la ayuda económica comunitaria, etc. Esta base de datos es un fichero censal administrativo que registra todos los datos de los proyectos y de los beneficiarios que han recibido fondos FEDER para una determinada operación, con información del periodo de programación 2014-2020.

A2.3 Otras fuentes de información

Junto a los dos ficheros anteriores, que contienen información de la variable de resultado y la del grupo de tratamiento, también se ha utilizado información a nivel municipal de otras fuentes administrativas que informan sobre factores que pueden ser relevantes a la hora de determinar la calidad del agua, principalmente demográficos y de actividad económica. Por un lado, del Instituto Nacional de Estadística (INE) suministra información de la población a 1 de enero de

diferentes años suministrados por el padrón, junto a información de las empresas por sector de actividad en el municipio, obtenida de la explotación del directorio central de empresas (DIRCE). Además, se utiliza información del Servicio Público de Empleo (SEPE) sobre el número de contratos a nivel municipal y mes, por grupos de población y sexo y sectores de actividad (agricultura, industria, construcción y servicios). Estas variables, tanto el número de empresas por sector de actividad, así como el número de contratos por sector de actividad pueden ofrecer una idea del nivel de actividad económica existente en el municipio. Finalmente, también se emplean las bases de datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN), que contienen información sobre georreferenciación de los municipios considerados en el análisis.

A2.4. Integración de ficheros

La integración de los diferentes ficheros administrativos se hace mediante las variables código del municipio y año de la información. Esto permite generar un fichero de datos de panel de 10617 observaciones, sobre 2100 municipios, durante los años 2013, 2015, 2017, 2019 y 2021. La Tabla 8 muestra Las variables disponibles en este panel.

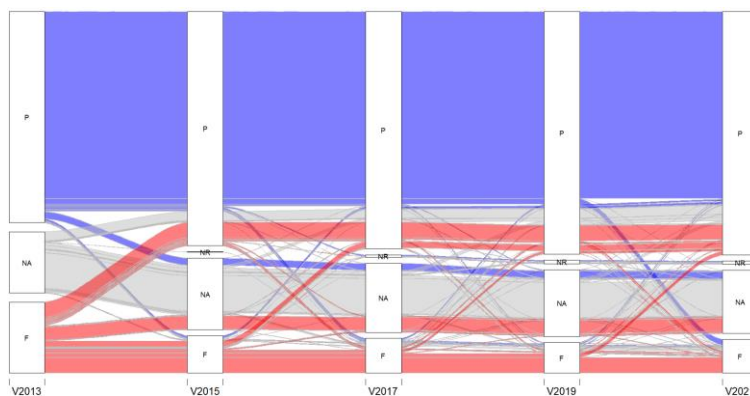
En la siguiente sección se muestran los resultados de la estimación del impacto de la realización de infraestructuras en depuradoras de aguas residuales urbanas.

ANEXO 3: ANALISIS DE LA DINAMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN ESPAÑA- GRAFICO ALUVIAL

Al disponer información individual de cada EDAR se puede estudiar el cambio de valor en la respuesta del cumplimiento del tratamiento conforme a la legislación establecida en la DMA observando cómo evoluciona la respuesta a medida que pasa el tiempo. Estas figuras muestran el porcentaje respecto al total de individuos que hay en cada año, y como se mueven o fluyen los individuos a lo largo del tiempo, observando si hay cambios en el valor de la variable analizada. A continuación, se presenta el Diagrama Aluvial para los cinco parámetros analizados, mostrando la evolución del porcentaje de EDARs en cada tipo de respuesta a lo largo del tiempo.

En la Figura A3.1 se analiza la evolución del parámetro DBO5. Al comparar el porcentaje de EDARs en cada opción de respuesta sobre el cumplimiento (P, F, NA, NR) en 2013 y 2021, se ha producido un claro aumento del número de depuradoras que cumplen en el último año (valor P). También hay una mayor proporción de ellas que no informan (NA), y una notable reducción de las incumplidoras (F). Al analizar la dinámica, los grandes cambios se producen entre los años 2013 y 2015, donde se produce un trasvase considerable de, por un lado, EDARs que tomaban el valor NA o F en 2013 y que en 2015 pasan a P. También se observa que un porcentaje nada despreciable de las EDARs que no cumplían en 2013 pasan a NA en 2015 y se mantienen así para el resto de años de información. Finalmente destacar la existencia de un porcentaje de EDARs que en 2013 cumplían, pero que a partir de 2015 y los siguientes años pasan al valor NR, no siendo necesario informar.

Figura A3.1: Diagrama Aluvial para la evolución de las respuestas del parámetro DBO5. Periodo 2013-2021.



La Figura A3.2 muestra la dinámica del cumplimiento del DQO, observándose un trasvase considerable de EDARs entre los años 2013 a 2015, especialmente de las incumplidoras (valor F) en 2013 a valores NA y P en 2015, que posteriormente se mantienen estables para el resto de años analizados. También hay un movimiento similar de F a P entre los años 2013 y 2015, pero de una magnitud mucho menor. El resto de transiciones se pueden considerar poco relevantes

El análisis sobre el cumplimiento del parámetro de total de sólidos, dado en la Figura A3.3, presenta una dinámica completamente distinta a los dos casos analizados previamente. Por un lado, en 2013 hay un alto porcentaje de EDARs que no ofrecen información (NA y NR). También se observa que el porcentaje de depuradoras que incumple se ha reducido considerablemente en este periodo de 8 años analizados. Esta reducción se produce sobre todo entre los años 2013 y 2015, donde varias EDARs pasan a cumplir (P) o a no ofrecer información (NA), y también entre 2015 y 2013 con un flujo desde F hacia P. También es destacable el trasvase en las cumplidoras

que se produce entre 2019 y 2021, con una reducción del porcentaje que cumplían, pasando principalmente a NR en 2021.

Figura A3.2: Diagrama Aluvial para la evolución de respuestas del parámetro DQO. Periodo 2013-2021.

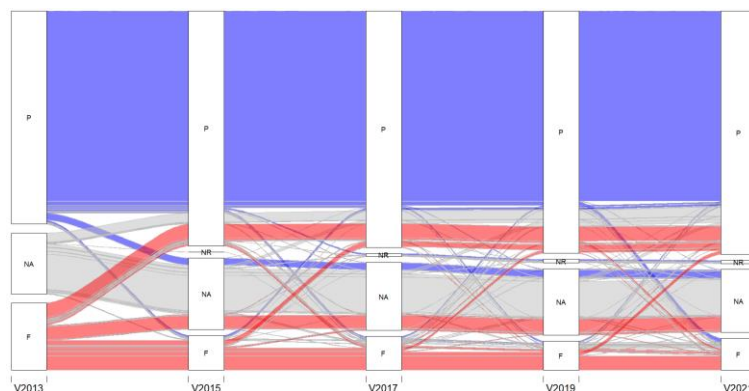


Figura A3.3: Diagrama Aluvial de Evolución en las respuestas del parámetro total sólidos. Periodo 2013-2021.

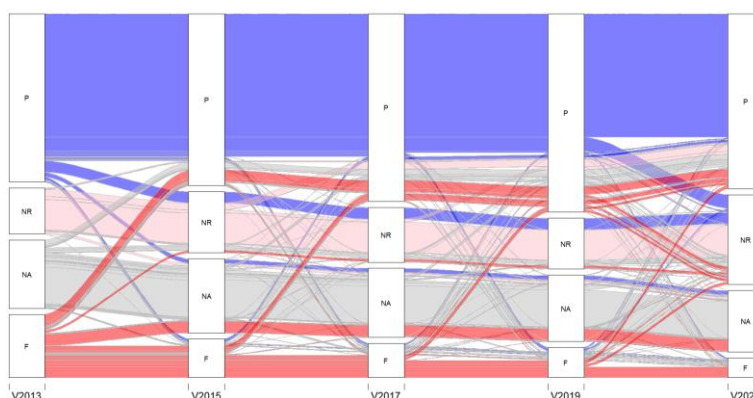
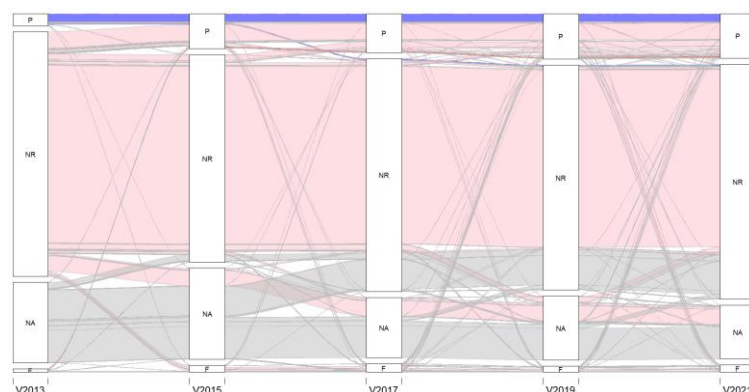


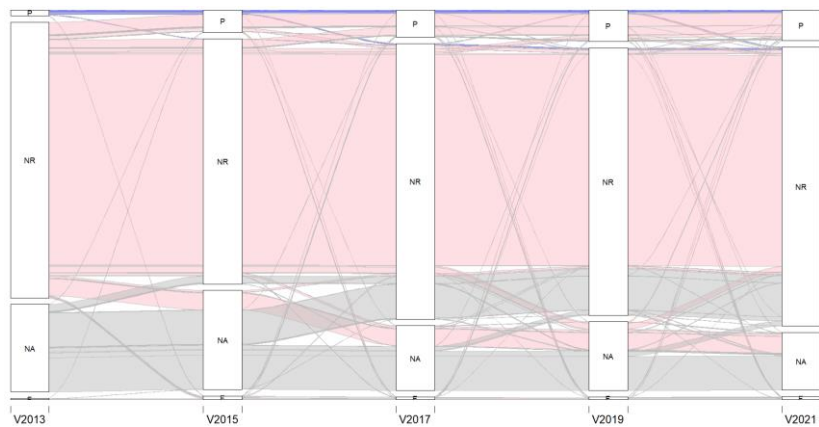
Figura A3.4: Diagrama Aluvial de evolución en las respuestas del parámetro Fosforo. Periodo 2013-2021.



Las dinámicas de los parámetros relativos a Fósforo y Nitrógeno en el agua, de las Figuras A3.4 y A3.5, reflejan imágenes muy similares. La gran mayoría de EDARs no tienen información (valores NA y NR) durante todos los años analizados, con un porcentaje muy escaso de depuradoras que tienen obligación de informar si cumplen o no la normativa de agua. El único hecho reseñable es la existencia de un porcentaje significativo de EDARs que a medida que pasa

el tiempo pasan de valores NA a NR en los dos parámetros de fósforo y nitrógeno, sobre todo entre los años 2015 y 2017.

Figura A3.5: Diagrama Aluvial de evolución en respuestas del parámetro Nitrógeno. Periodo 2013-2021.



ANEXO 4: ANALISIS DE LA INVERSION EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON FONDOS FEDER

A partir del fichero administrativo de operaciones de Fondos de la UE en el Ministerio de Hacienda español, gestionado por la Dirección General de Fondos Comunitarios (FEDER), que contiene información sobre los beneficiarios de los fondos europeos, se han considerado las operaciones, tanto del Programa Operativo Plurirregional del periodo 2014-2020, como de los 19 programas regionales cuyo campo de intervención es el “022 Tratamiento de aguas residuales”, obteniendo un total de 314 operaciones. La siguiente tabla muestra la distribución de estas inversiones en función del año de inicio y finalización.

Tabla A4.1: Número de operaciones FEDER (programa plurirregional + programas regionales) en Tratamiento de aguas residuales. Periodo 2013-2023. En función de año de inicio y finalización

Fin	Inicio											%
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total	
2016	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	4	1.2%
2017	1	4	4	4	0	0	0	0	0	0	13	4.1%
2018	0	1	3	7	5	0	0	0	0	0	16	5.1%
2019	0	1	3	6	7	1	1	0	0	0	19	6.0%
2020	0	0	0	11	5	5	4	3	0	0	28	8.9%
2021	0	2	3	4	3	18	7	6	88	0	131	41.7%
2022	0	1	0	2	1	4	4	9	14	0	35	11.1%
2023	0	1	5	9	8	5	5	5	23	7	68	21.6%
Total	1	12	20	43	29	33	21	23	125	7	314	
%	0.3%	3.8%	6.3%	13.6%	9.2%	10.5%	6.6%	7.3%	39.8%	2.2%		

De las 314 operaciones, en el año 2021 comienzan el 39,8%, seguido del año 2016, con el 13,6%, y el 2018, con el 10,5. Por lo que respecta al año de finalización, los años 2021, 2022 y el 2023 son los que finalizan más inversiones con el 41,7%, 11,1% y el 21,6%.

Sin embargo, dentro del epígrafe “022 Tratamiento de aguas residuales” se incluyen diferentes tipos de operaciones. A continuación, se han agrupado las inversiones en 4 tipos:

- Grupo 1: Construcción de al menos una nueva EDAR, junto a otras construcciones
- Grupo 2: Mejora de una EDAR ya existente, que no sean relacionados con sistemas eléctricos.
- Grupo 3: Otro tipo de construcciones, como colectores, tanques de tormenta, etc,
- Grupo 4: Otro tipo de operaciones que no impliquen construcción, como estudios, análisis.

En la siguiente tabla se muestran el número de inversiones en tratamiento de aguas residuales, dependiendo del grupo de clasificación anterior y del año de finalización de obra.

Tabla A4.2: Muestra un resumen de los proyectos de tratamiento de aguas residuales financiados por los Fondos FEDER completados durante el período

Año fin obra	Tipo obra				
	1	2	3	4	Total
2016	0	2	2	0	4
2017	5	2	4	2	13
2018	5	2	5	4	16
2019	11	0	4	4	19
2020	9	7	10	1	27
2021	27	26	7	7	131
2022	6	10	17	2	35
2023	18	21	24	5	68
Total	81	70	137	27	313
	25.8%	22.3%	43.7%	8.0%	

Las inversiones relacionadas con una infraestructura EDAR, ya sea la construcción de una nueva o mejora de una existente, suponen el 48% de las operaciones realizadas. Para la realización de la evaluación de impacto, como grupo de tratamiento se consideran solo las inversiones que supongan una construcción o mejora de una EDAR, grupo 1 y 2.

ANEXO 5: METODOLOGIA DE EVALUACION DE IMPACTO – STAGGERED DIF IN DIF

Una evaluación de impacto contesta a la pregunta qué le hubiera pasado a un individuo tratado del programa en el caso de no haber recibido tratamiento, en nuestro caso particular, qué le hubiera pasado a la calidad del agua y su cumplimiento de la directiva en el caso de no haber realizado la obra de la EDAR. Sin embargo, la robustez de este análisis se ve comprometido por la existencia de otras características de los municipios donde se instalan, meteorológicas, etc, que influyen en que realicen una obra de este tipo, denominados sesgos de selección, y que pueden deberse a variables observables y no observables. Para el primer caso de características observadas se puede evitar mediante la identificación y utilización de variables conocidas, que expliquen el comportamiento de los individuos en ausencia del programa. En este contexto, el contrafactual se puede estimar utilizando el grupo de no participantes. Sin embargo, parece difícil tener disponibles todas las características relevantes de los municipios que hacen obras, por lo que existen características no observadas que influyen en la participación.

Para resolver los problemas de sesgo por variables no observadas utilizamos un panel de datos que nos permite identificar el efecto del programa al tratar adecuadamente la variación de los municipios a lo largo del tiempo. El diseño de impacto utilizado en este trabajo es el método de "diferencia en diferencias" (DiD). Las dos aproximaciones más habituales para estimar el impacto en un DiD se basan en las especificaciones de regresión lineal de efectos fijos bidireccionales (en inglés Two way Fixed effect - TWFE) tanto en su versión "estática" como "dinámica". La expresión de la ecuación estática es:

$$Y_{i,t} = \alpha_t + \alpha_g + \beta D_{i,t} + \theta X_{i,t} + U_{i,t} \quad (A5.1)$$

Mientras que, si suponemos que a lo largo del periodo de tiempo analizado, los individuos pueden ser tratados en diferentes momentos, la opción dinámica viene dada por:

$$Y_{i,t} = \alpha_t + \alpha_g + \sum_{e=-K}^{-1} \delta_e^{ant} D_{i,t}^e + \sum_{e=0}^L \beta_e D_{i,t}^e + \theta X_{i,t} + V_{i,t} \quad (A5.2)$$

donde α_t es el efecto fijo del tiempo, α_g es el efecto fijo del grupo o individuo, $Y_{i,t}$ es la variable endógena de la ecuación, $X_{i,t}$ es un vector de características observadas de los municipios que influyen sobre la variable dependiente, mientras que $U_{i,t}$, $V_{i,t}$ son los términos de error de la ecuación. Además, $D_{i,t}^e = I(t - G_i = e)$ es una función indicador que toma el valor 1 cuando la unidad "i" está a una distancia de "e" periodos respecto al momento en que recibió el primer tratamiento en el momento t, siendo K, L dos constantes positivas, que indican el periodo máximo de tiempo considerado.

Por lo que se refiere a la ecuación (A5.1), el parámetro de interés de la evaluación en la especificación Two Way Fixed Effect (TWFE) estática es β , que normalmente se interpreta como el impacto general que tiene participar en el tratamiento entre grupos (tratados y controles) y periodos de tiempo (antes y después de tratamiento). En la especificación TWFE dinámica dada por (A5.2) la evaluación se enfoca en β_e , $e \geq 0$, que son parámetros que generalmente se interpretan como la estimación del impacto de participar en el programa en los siguientes periodos posteriores a recibir tratamiento, mientras que los parámetros δ_e^{ant} capturan la diferencia entre los tratados y controles antes de producirse el tratamiento, similar al estudio de la hipótesis de caminos paralelos.

Cuando la introducción de una política se escalona en el tiempo y el efecto del tratamiento es constante y homogéneo, se puede utilizar el enfoque clásico de datos de panel del TWFE para estimar el impacto del tratamiento. Incluso, cuando el efecto de este es dinámico, se puede capturar de forma correcta la estimación del impacto usando un modelo TWFE siempre que el

efecto de la política se modele usando la ecuación (A5.2)¹³. Sin embargo, cuando el efecto del programa sobre los individuos es escalonado, dinámico y heterogéneo, la especificación de regresión TWFE puede producir resultados sesgados, al igual que la especificación que utiliza una variable categórica para el tiempo transcurrido desde el tratamiento. Investigaciones recientes han demostrado que se debe tener mucho cuidado al asignar una interpretación causal a estos parámetros agregados, y en estos casos, es conveniente utilizar alguno de los nuevos estimadores propuestos en la literatura recientemente. En nuestro caso particular adoptamos la aproximación de Callaway y SantAnna (2021), que emplea una combinación de una estimación de regresión con el enfoque de Inverse Probability Weight (IPW), conocido también como el estimador doblemente Robusto (Double Robust, en sus siglas en inglés, DR) siendo la fórmula del estimador:

$$ATT(g, t) = E \left[\left(\frac{G_g}{E(G_g)} - \frac{\frac{p_g(X)C}{1-p_g(X)}}{E\left(\frac{p_g(X)C}{1-p_g(X)}\right)} \right) (Y_t - Y_{g-\delta-1} - m_{g,t}^{nev}(X)) \right] \quad (A5.3)$$

Donde g identifica el periodo en el que la unidad es tratada, t es el momento de tiempo de observación, mientras que G_g es una variable dicotómica que toma el valor 1 si la unidad recibe el primer tratamiento en el periodo g , es decir $G_{i,g} = I(G_i = g)$, y C es una variable dicotómica que toma el valor 1 cuando las unidades que no participan en el tratamiento en ningún periodo, siendo $p_g(X) = P(G_g = 1 | X, G_g + C = 1)$ la probabilidad de ser tratado por primera vez en el periodo “ g ” condicionado a los regresores X y a que ya pertenece al grupo de “ g ” - G_g - o que no ha participado en el programa en ningún periodo (C), mientras que $m_{g,t}^{nev}(X) = E[Y_t - Y_{g-1} | X, C = 1]$ es la regresión para el grupo de nunca tratados.

El estimador anterior muestra que se pueden identificar los $ATT(g; t)$ restringiendo el comportamiento de anticipación del tratamiento e imponiendo un supuesto de tendencias paralelas condicionales. En muchas ocasiones puede ser que los parámetros $ATT(g; t)$ se puedan usar para resaltar la heterogeneidad del efecto del tratamiento en diferentes grupos g , en diferentes puntos en el tiempo t , y en diferentes períodos de exposición al tratamiento, $e = t - g$. En otras situaciones, sin embargo, se pueden combinar estos diferentes $ATT(g; t)$ para formar parámetros causales más agregados. Por ejemplo, si el número de grupos y períodos de tiempo es relativamente grande, puede ser difícil interpretar muchos efectos de tratamiento promedio de tiempo de grupo. En esta sección, considerando los $ATT(g; t)$, el esquema de agregación para componer un estimador que resuma o agrega los efectos causales de una política determinada viene dado como:

$$\theta = \sum_{g \in G} \sum_{t=2}^T w(g, t) ATT(g, t) \quad (A5.4)$$

donde $w(g; t)$ son funciones de ponderación especificadas por el evaluador de tal manera que se pueden usar para abordar una determinada pregunta de evaluación.

¹³ Cuando existen dudas a la hora de realizar la evaluación de impacto entre estimar un efecto dinámico - parámetro β_e de la ecuación (A4.2) - o una aproximación estática con único parámetro que resuma el tiempo de tratamiento - parámetro β de (A4.1), es recomendable, cuando hay varios períodos de tiempo, comenzar estimando un efecto dinámico para ver si el modelo respalda este hecho.

ANEXO 6: VARIABLES UTILIZADAS EN LA EVALUACION DE IMPACTO

Para la estimación de las diferentes regresiones econométricas que evalúan el impacto del programa EDAR sobre el cumplimiento de la DMA se han considerado una serie de variables que pasamos a describir a continuación.

Tabla A6.1: Variables del panel de municipios para realizar la evaluación de impacto Dif-in-dif

Nombre variable	Descripción
Cod	Código de identificación del municipio.
Year	Año de información.
SiDBO5	Variable dicotómica. Toma valor 1 si el municipio incumple la legislación del parámetro DBO5 en el año t en el municipio i.
SiDQO	Variable dicotómica. Toma valor 1 si el municipio incumple la legislación del parámetro DQO en el año t en el municipio i.
Sisoli	Variable dicotómica. Toma valor 1 si el municipio incumple la legislación del parámetro total sólidos en el año t en el municipio i.
Sinitro	Variable dicotómica. Toma valor 1 si el municipio incumple la legislación del parámetro nitrógeno en el año t en el municipio i.
Sifosfo	Variable dicotómica. Toma valor 1 si el municipio incumple la legislación del parámetro de fosforo en el año t en el municipio i.
Totload	Volumen de Carga entrante de agua en la EDAR
Tratado	Variable dicotómica. Toma el valor 1 si en el municipio se ha realizado una obra de construcción o mejora de una EDAR.
Initrata	Año de inicio de la obra de construcción o mejora de la EDAR.
Fintrata	Año de finalización de la obra de construcción o mejora de la EDAR.
Costesuben	Coste de la financiación de la EDAR.
cofinan	Grado de cofinanciación de la inversión.
Superficie	Superficie del municipio, en m2.
Perímetro	Perímetro del municipio, en m.
Altitud	Altitud media del municipio, en m.
Conagri	Número de contratos en agricultura en octubre del año t en el municipio i
Conind	Número de contratos en industria en octubre del año t en el municipio i.
Concons	Número de contratos en construcción en octubre del año t en el municipio i.

Conser	Número de contratos en servicios en octubre del año t en el municipio i.
Emptot	Número total de empresas en el año t en el municipio i.
Empind	Número de empresas en la industria en el año t en el municipio i.
Empcons	Número de empresas en la construcción en el año t en el municipio i.
Emphost	Número de empresas en la hostelería en el año t en el municipio i.
I(CCAA=i)	17 variables dicotómicas asociadas a cada CCAA. Toma el valor 1 si la información es de la CCAA=i, y 0 en caso contrario.

ANEXO 7: ESTIMACION DEL IMPACTO CON UN MODELO DE DATOS DE PANEL

De forma alternativa, se ofrece las estimaciones suponiendo el efecto del tratamiento sea constante, con la aproximación de TWFE (Two Way Fixed Effects). En las tablas de este Anexo se presentan las estimaciones de las ecuaciones (A5.1) y (A5.2) del Anexo 5 para las diferentes variables de contaminación que capturan el cumplimiento de la directiva de agua (DBO5, DQO, sólidos, nitrógeno, fósforo) considerando tres métodos de estimación diferentes: En el caso de suponer homogeneidad no observada entre individuos, $\alpha_g = \alpha$ en (A5.1) y (A5.2), conocido como pool de datos, que denominamos POOL. En el caso de suponer heterogeneidad no observada entre los individuos, α_g del Anexo 5, se estima con técnicas de datos de panel, mediante el método de Efectos Fijos (EF) y el método de Efectos Aleatorios (EA). También indicar que las tablas de estimación de (A5.1) y (A5.2) que se presentan a continuación muestran los resultados diferenciando entre la inclusión (o no) de regresores extra en la ecuación. Los resultados confirman los obtenidos con el método del staggered-dif-in-dif de Callaway y SantAnna presentados en esta sección

Tabla A7.1: Estimación de Ecuación (A5.1) y (A5.2) con y sin regresores extra. Variable depen:DBO5.

	Sin regresores extra (variables X)						Con regresores extra					
	POOL		EF		EA		POOL		EF		EA	
SiDBO5	Coef	pval	Coef	Pval	Coef	Pval	coef	Pval	Coef	pval	coef	pval
Ecu (1)												
β	-1.74	0.00	-15.90	0.97	-7.23	0.00	-2.04	0.00	-17.09	0.98	-7.20	0.00
Ecu (2)												
δ_{-5}^{ant}	-0.09	0.84	0.74	0.47	0.67	0.48	-0.10	0.82	0.85	0.41	0.62	0.00
δ_{-4}^{ant}	0.09	0.87	0.65	0.54	0.63	0.54	0.12	0.84	0.75	0.48	0.65	0.52
δ_{-3}^{ant}	1.01	0.14	2.82	0.15	2.85	0.09	0.84	0.28	3.02	0.12	2.89	0.52
δ_{-2}^{ant}	0.49	0.37	1.57	0.13	1.60	0.11	0.48	0.39	1.62	0.12	1.59	0.10
δ_{-1}^{ant}	1.09	0.11	3.17	0.11	3.19	0.16	0.87	0.26	3.33	0.09	3.17	0.12
β_1	-0.64	0.32	-13.61	0.98	-3.59	0.05	-0.91	0.25	-14.33	0.99	-3.44	0.08
β_2	-1.84	0.03	-15.71	0.98	-7.61	0.00	-1.81	0.04	-16.48	0.99	-6.88	0.12
β_3	-2.25	0.05	-28.13	0.98	-8.74	0.00			-29.78	0.99		
β_4			-15.70	0.99					-16.44	0.99		

Para la especificación (A5.1), tanto en el caso del pool de datos (POOL), como en la opción de efectos aleatorios de datos de panel, las estimaciones muestran que realizar obras en EDARS

tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la reducción del incumplimiento de la directiva, porque tienen un p-valor por debajo de 0.1 y el signo del parámetro es negativo, tanto considerando o no más regresores, menos en el modelo de efectos fijos, con p-valores muy altos. Para los parámetros de la ecuación (A5.2), la estimación de los β_e confirman los resultados obtenidos previamente. Tanto el pool de datos como efectos aleatorios muestran un efecto significativo y negativo sobre el incumplimiento de la directiva de agua, especialmente a partir del 2º año tras la finalización de las obras, mientras que la estimación de efectos fijos no muestra impactos significativos para ninguno de los años posteriores a la realización de la obra de la EDAR. También destaca que los parámetros δ_{-e}^{ant} para todos los periodos previos a recibir tratamiento y los diferentes métodos de estimación no son estadísticamente significativos, por lo que parece, de acuerdo a la evidencia, que la teoría de caminos paralelos se verifica.

Tabla A7.2: Estimación de Ecuación (A5.1) y (A5.2) con y sin regresores extra. Variable depend:DQO

	Sin regresores extra (Variables X)						Con regresores extra					
	POOL		EF		EA		POOL		EF		EA	
SiDQO	coef	pvalue	Coef	pvalue	Coef	pvalue	coef	pvalue	Coef	pvalue	coef	pvalue
Ecu (1)												
β	-1.61	0.00	-3.27	0.00	-6.06	0.00	-1.76	0.00	-3.63	0.00	-6.08	0.00
Ecu (2)												
δ_{-5}^{ant}	-0.38	0.21	15.22	0.99	0.32	0.78	-0.38	0.23	14.66	0.99	0.41	0.71
δ_{-4}^{ant}	-0.22	0.45	-0.40	0.72	-0.50	0.66	-0.21	0.51	-0.40	0.72	-0.45	0.69
δ_{-3}^{ant}	0.70	0.27	16.95	0.99	2.27	0.18	0.38	0.59	15.55	0.99	1.67	0.36
δ_{-2}^{ant}	0.04	0.90	0.12	0.91	0.10	0.93	0.00	1.00	0.14	0.90	0.13	0.90
δ_{-1}^{ant}	0.78	0.23	17.34	0.99	2.63	0.13	0.40	0.58	16.03	0.99	2.03	0.27
β_1	-0.91	0.16	14.14	0.99	-2.60	0.11	-0.92	0.25	13.13	0.99	-2.27	0.24
β_2	-1.84	0.02	-16.88	0.99	-8.32	0.00	-1.83	0.02	-16.36	0.99	-7.39	0.00
β_3	-2.24	0.05	-1.63	1.00	-7.66	0.01			-2.32	1.00		
β_4			-16.81	0.99					-16.22	0.99		

Para el parámetro DQO, los resultados obtenidos son algo más determinantes. Por lo que se refiere al impacto calculado en la ecuación (A5.1), para todas las especificaciones, con y sin más regresores, y la estimación del pool de datos y los dos modelos de datos de panel, se obtiene un impacto estadísticamente significativo del EDAR sobre la reducción del incumplimiento. Para la estimación de los parámetros de la ecuación (A5.2), los β_e confirman los resultados obtenidos previamente, para el caso del pool de datos como efectos aleatorios, que reflejan un efecto significativo y negativo sobre el incumplimiento de la directiva de agua, especialmente a partir

del 2º año tras la finalización de las obras, mientras que el modelo de efectos fijos no refleja efectos estadísticamente relevantes.

Tabla A7.3: Estimación de Ecuación (A.51) y (A.52) con y sin regresores extra. Variable dep: solido

SiSolido	Sin regresores extra (Variables X)						Con regresores extra					
	POOL		EF		EA		POOL		EF		EA	
Impact	coef	pvalue	Coef	pvalue	Coef	pvalue	coef	pvalue	coef	pvalue	coef	pvalue
Ecu (1)												
β	-1.83	0.00	-2.72	0.00	-5.28	0.00	-1.77	0.00	-2.26	0.00	-4.51	0.00
Ecu (2)												
δ_{-5}^{ant}	-0.53	0.23	0.22	0.88	0.04	0.98	-0.50	0.27	0.11	0.94	0.08	0.95
δ_{-4}^{ant}	-0.49	0.22	-13.68	0.98	-1.33	0.34	-0.50	0.24	-14.08	0.99	-1.30	0.35
δ_{-3}^{ant}	0.06	0.93	-0.10	0.96	-0.04	0.98	0.25	0.79	0.14	0.94	0.22	0.90
δ_{-2}^{ant}	-0.11	0.80	-0.34	0.83	-0.08	0.95	-0.19	0.69	-0.33	0.83	-0.25	0.84
δ_{-1}^{ant}	-0.40	0.56	-1.02	0.61	-1.13	0.47	-0.64	0.42	-0.98	0.63	-1.32	0.44
β_1	-1.48	0.04	-2.16	0.28	-3.79	0.02	-1.00	0.22	-1.16	0.57	-2.01	0.26
β_2	-2.35	0.01	-27.70	0.98	-7.81	0.00	-2.30	0.01	-28.21	0.98	-7.35	0.00
β_3	-2.55	0.03	-16.95	0.99	-7.41	0.01			-17.01	0.99		
β_4			-27.32	0.99					-27.85	0.99		

Por lo que respecta al cumplimiento del parámetro de sólidos, los resultados obtenidos del impacto calculado en la ecuación (A5.1) muestran un claro efecto, para todas las especificaciones propuestas, obteniendo un impacto estadísticamente significativo del EDAR sobre la reducción en los niveles de incumplimiento de este parámetro. Para la estimación de los parámetros de la ecuación (A5.2), los β_e confirman los resultados obtenidos previamente, para el caso del pool de datos como efectos aleatorios, que reflejan un efecto significativo y negativo sobre el incumplimiento de la directiva de agua, desde el primer año de finalización de la obra, mientras que el modelo de efectos fijos no refleja efectos estadísticamente relevantes.

Tabla A7.4: Estimación de Ecuación (A5.1) y (A5.2) con y sin regresores extra. Variable dep: Fosforo

	Sin regresores extra (X)						Con regresores extra					
	POOL		EF		EA		POOL		EF		EA	
SiFosfo	coef	pvalue	Coef	pvalue	Coef	pvalue	coef	pvalue	coef	pvalue	Coef	pvalue

Ecu (1)												
β	1.34	0.34	2.08	0.13	2.65	0.13	0.86	0.63	3.76	0.14	1.70	0.42
Ecu (2)												
δ_{-5}^{ant}	0.87	0.56	15.66	1.00	2.85	0.29	0.96	0.56	14.98	1.00	3.27	0.22
δ_{-4}^{ant}	1.08	0.39	15.85	1.00	3.13	0.32	1.43	0.29	15.38	1.00	3.70	0.22
δ_{-3}^{ant}	-0.28	0.87	-15.53	1.00	-1.21	0.73	-0.84	0.61	-12.43	1.00	-2.04	0.58
δ_{-2}^{ant}	0.89	0.23	0.00	0.00	2.95	0.46	1.06	0.14	0.00	0.00	3.02	0.44
δ_{-1}^{ant}	0.02	0.99	-16.13	1.00	-0.63	0.85	-0.57	0.72	-11.62	1.00	-1.34	0.73
β_1	1.45	0.41	0.08	1.00	2.46	0.45	1.48	0.42	4.36	1.00	2.55	0.45
β_2			1.96	1.00								

Tabla A7.5: Estimación de Ecuación (A5.1), (A5.2) con y sin regresores extra. Variable dependiente: Nitrógeno

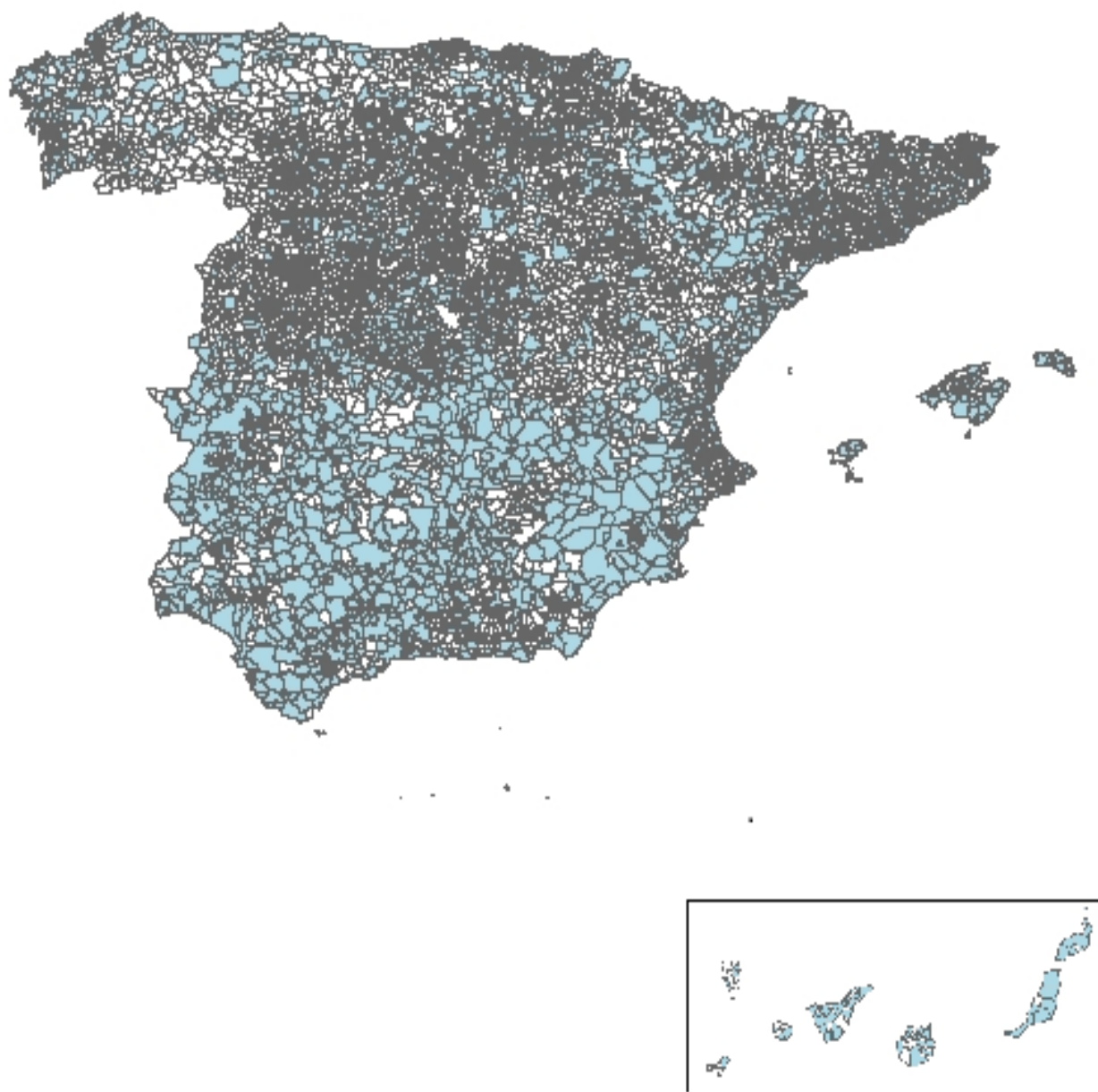
	Sin regresores extra (X)						Con regresores extra					
SiNitro	POOL		EF		EA		POOL		EF		EA	
Impact	coef	pvalue	Coef	pvalue	Coef	pvalue	Coef	pvalue	Coef	pvalue	coef	pvalue
Ecu (1)												
β			16.90	0.99			0.00		18.03	1.00	0.00	
Ecu (2)												
δ_{-5}^{ant}			-26.12	0.00								
δ_{-4}^{ant}			0.00	0.77								
δ_{-3}^{ant}	-16.52	1.00	-32.41	0.35	-29.05	1.00	-15.82	0.00				
δ_{-2}^{ant}												
δ_{-1}^{ant}	-16.14	1.00	-29.26	0.42	-28.25	1.00	-16.12	0.00				
β_1			0.90	0.00								
β_2												
β_3			-0.02	0.00								

Los resultados reflejan que no se dispone de suficiente evidencia para determinar si la construcción y mejora de EDARs ha influido en el cumplimiento de la directiva de agua en estos

dos parámetros. Sin lugar a dudas, existe un claro problema de potencia estadística que impide ofrecer evidencia sólida del análisis de estas dos variables.

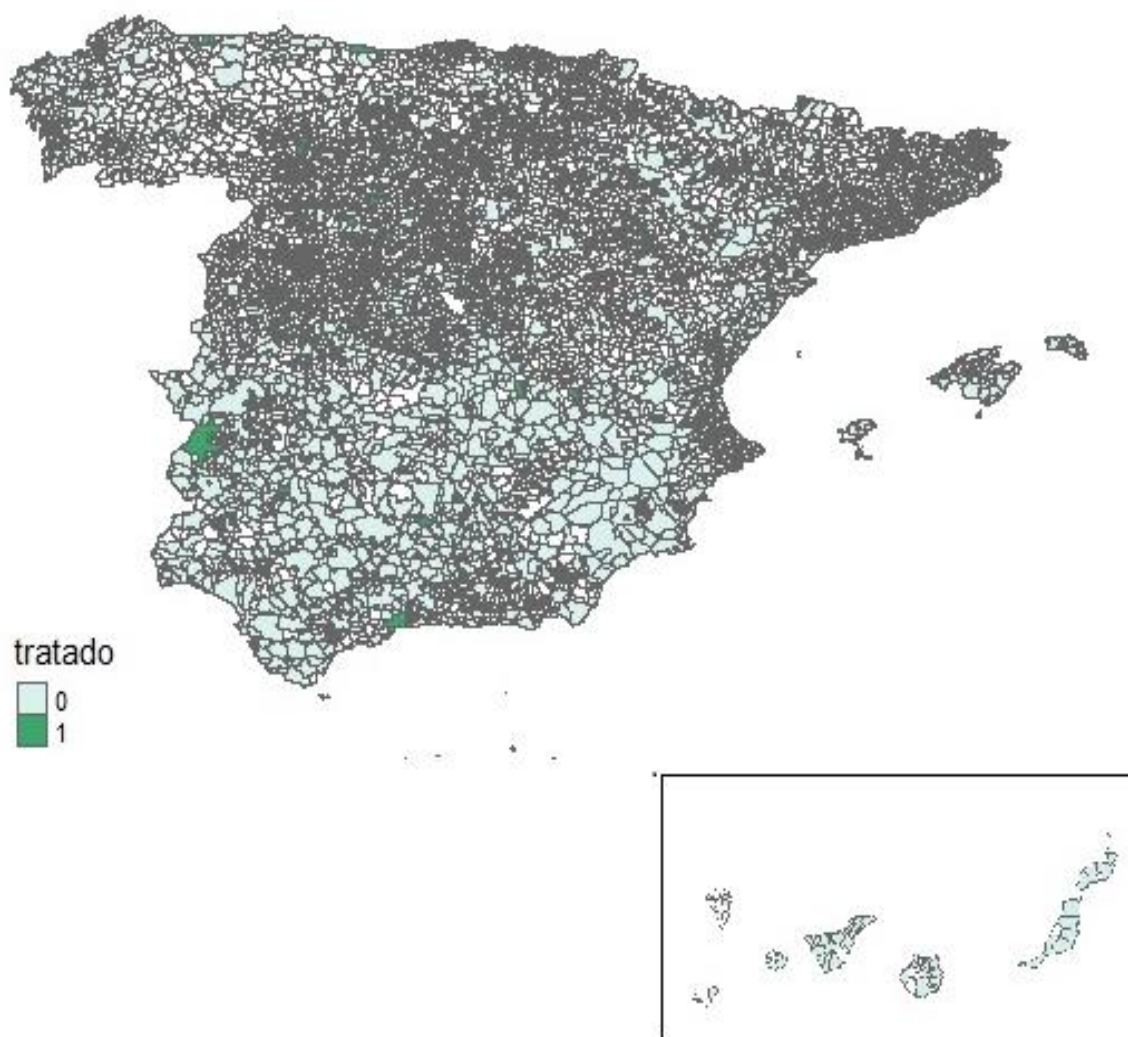
ANEXO 8: REPRESENTACIONES GRAFICAS ESPACIALES

Figura A8.1: MUNICIPIOS CON AL MENOS UNA DEPURADORA.AÑO 2021



Nota: azul los municipios con al menos una depuradora.

Figura A8.2: MUNICIPIOS TRATADOS VS NO TRATADOS Y NO EN BBDD. AÑO 2021



Nota: 0: No tratado (si en el municipio no se ha realizado una obra de construcción o mejora de EDAR). 1: Tratado (si en el municipio se ha realizado una obra de construcción o mejora de EDAR). En blanco: no está en la BBDD.

Figura A8.3: POBLACIÓN POR MUNICIPIO QUE TIENE DEPURADORA. AÑO 2021

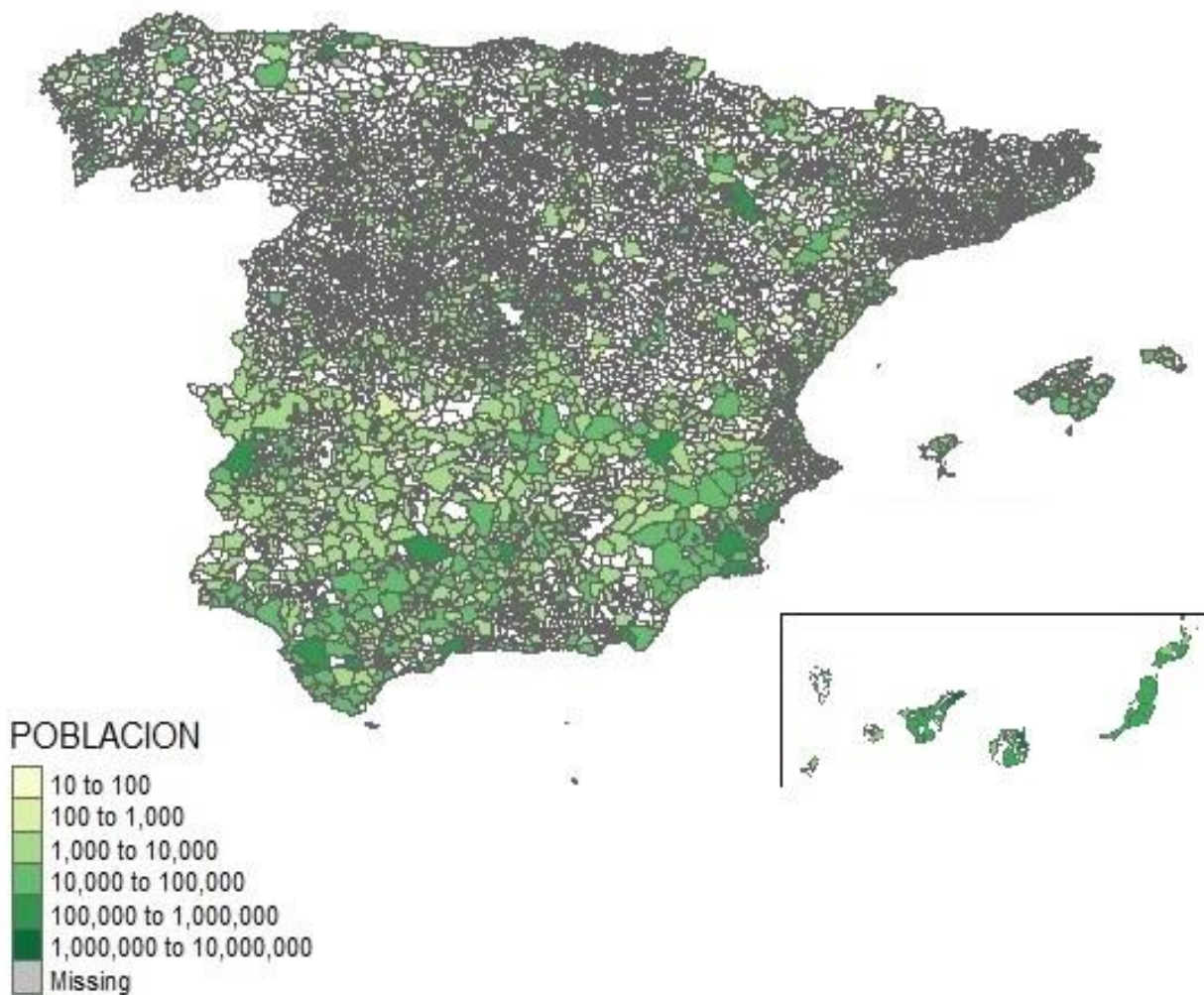


Figura A8.4: CARGA TOTAL DE LA DEPURADORA POR MUNICIPIO. AÑO 2021

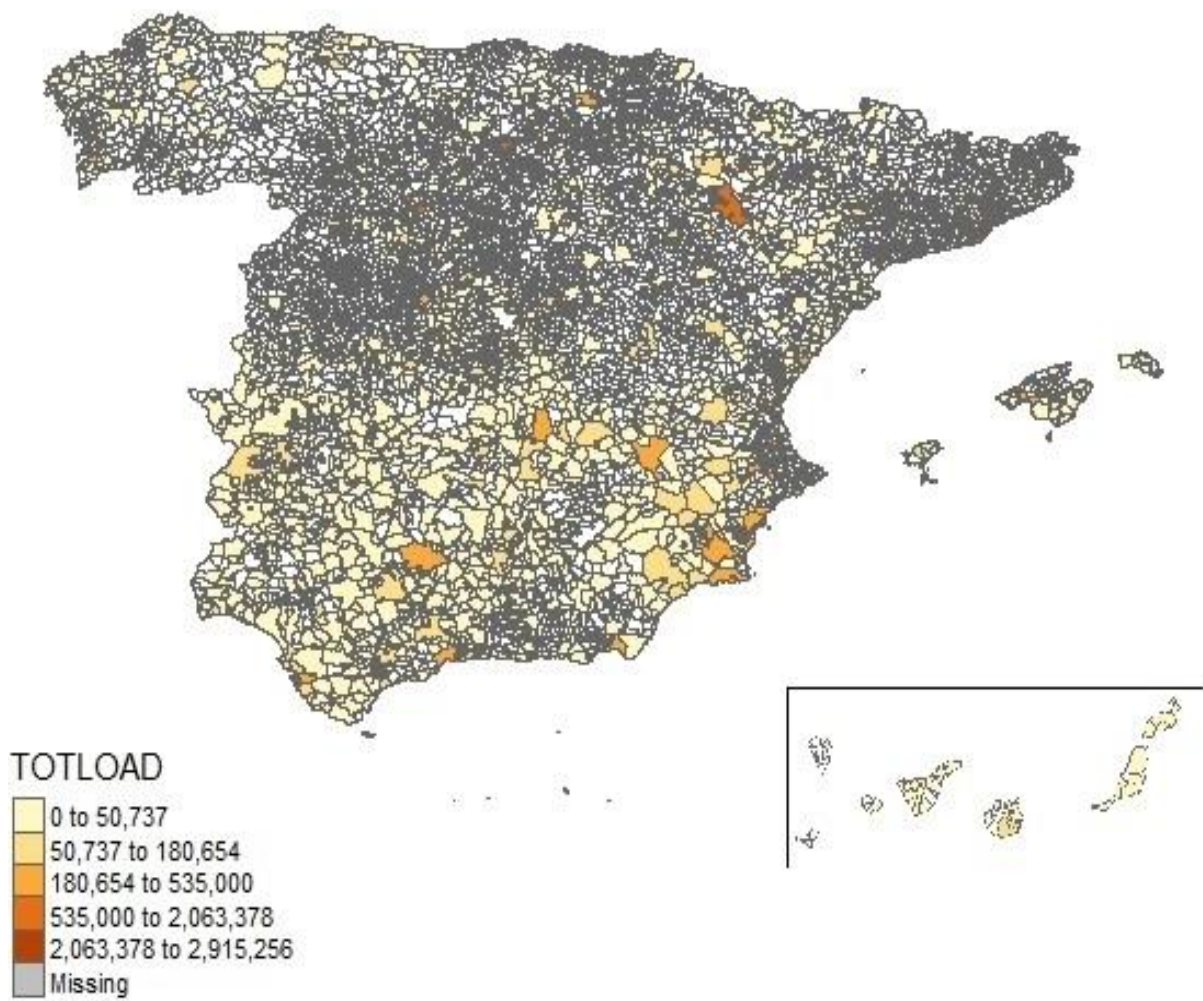
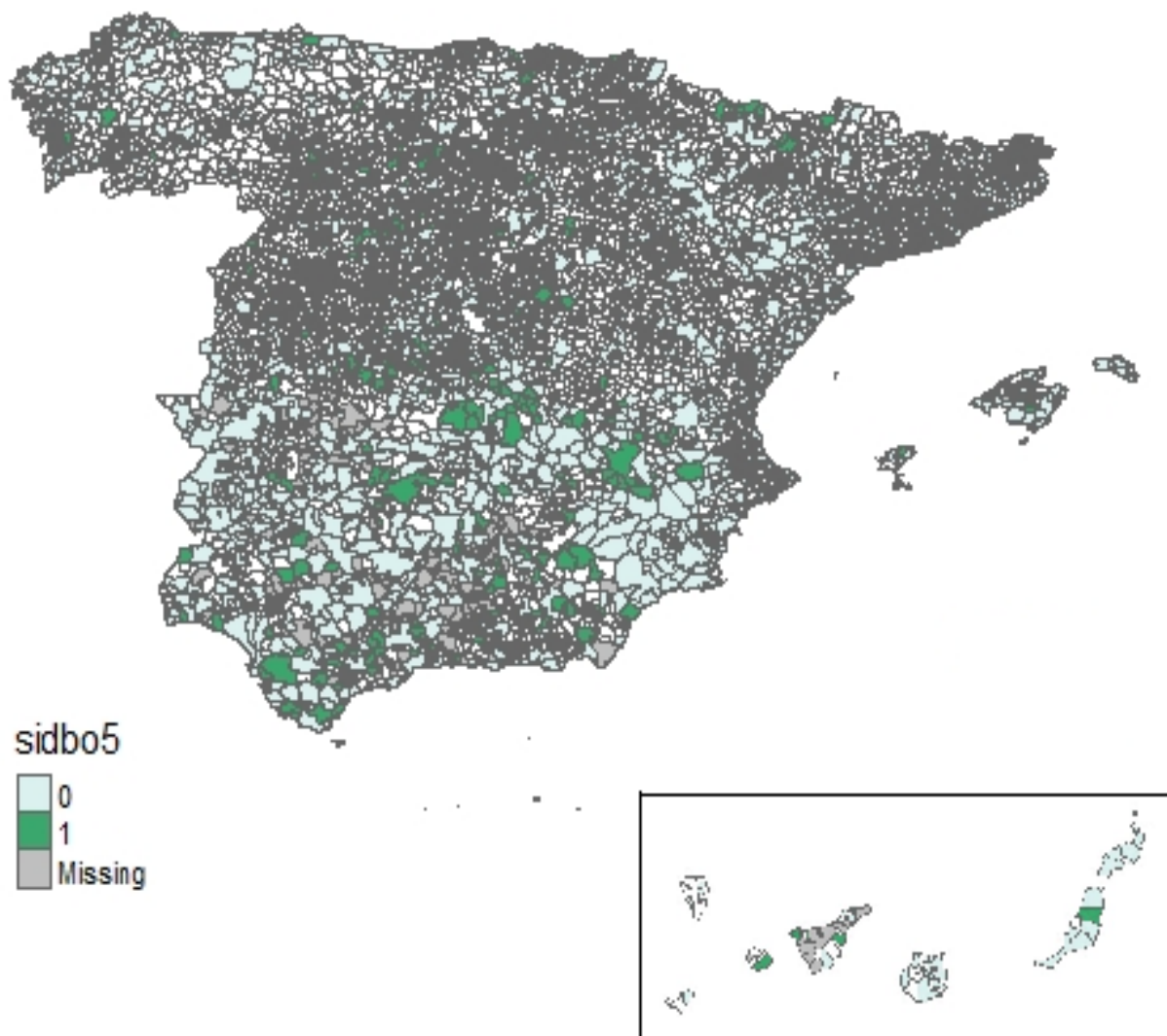
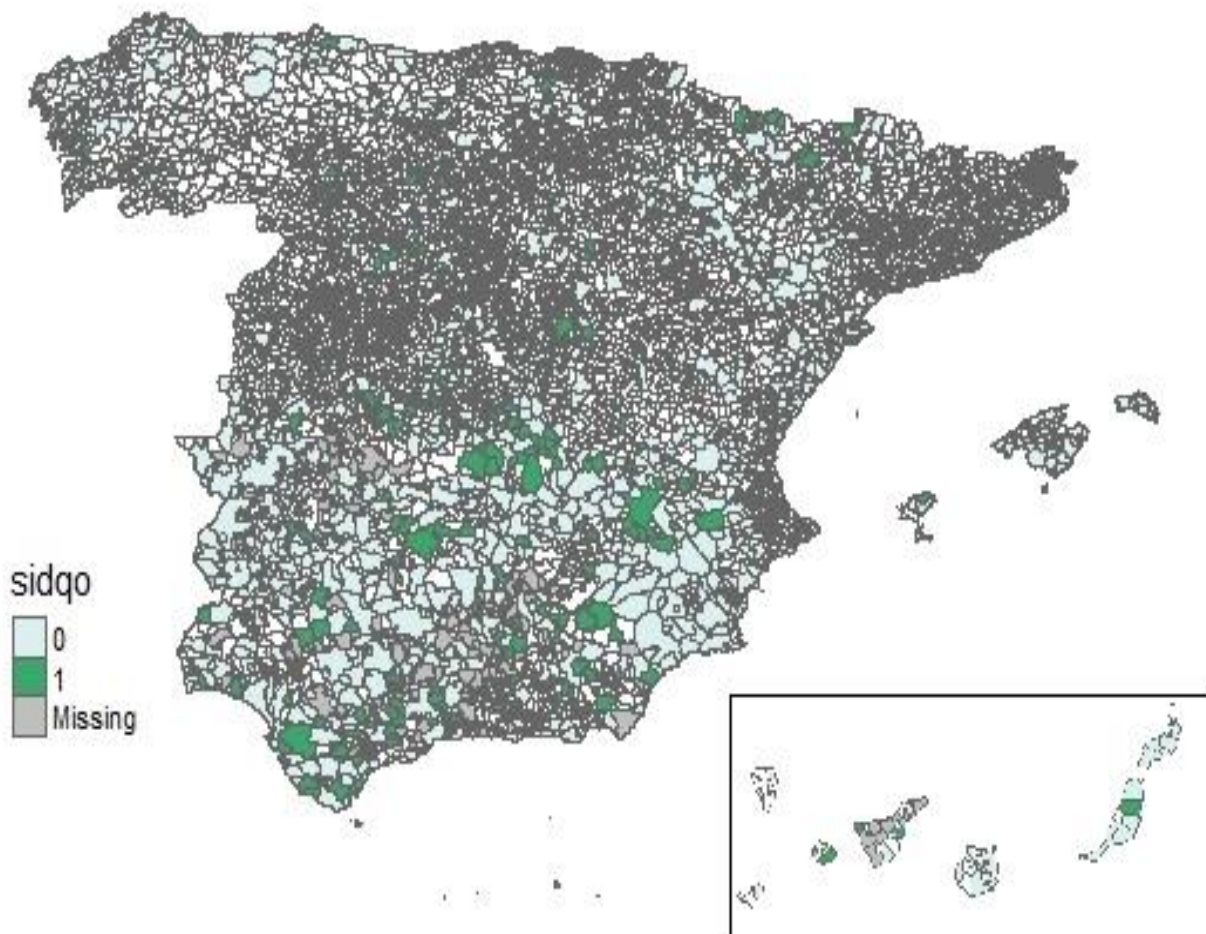


Figura A8.5: MUNICIPIOS QUE CUMPLEN O NO CON EL CRITERIO DE AGUA (SIDBO5). AÑO 2021



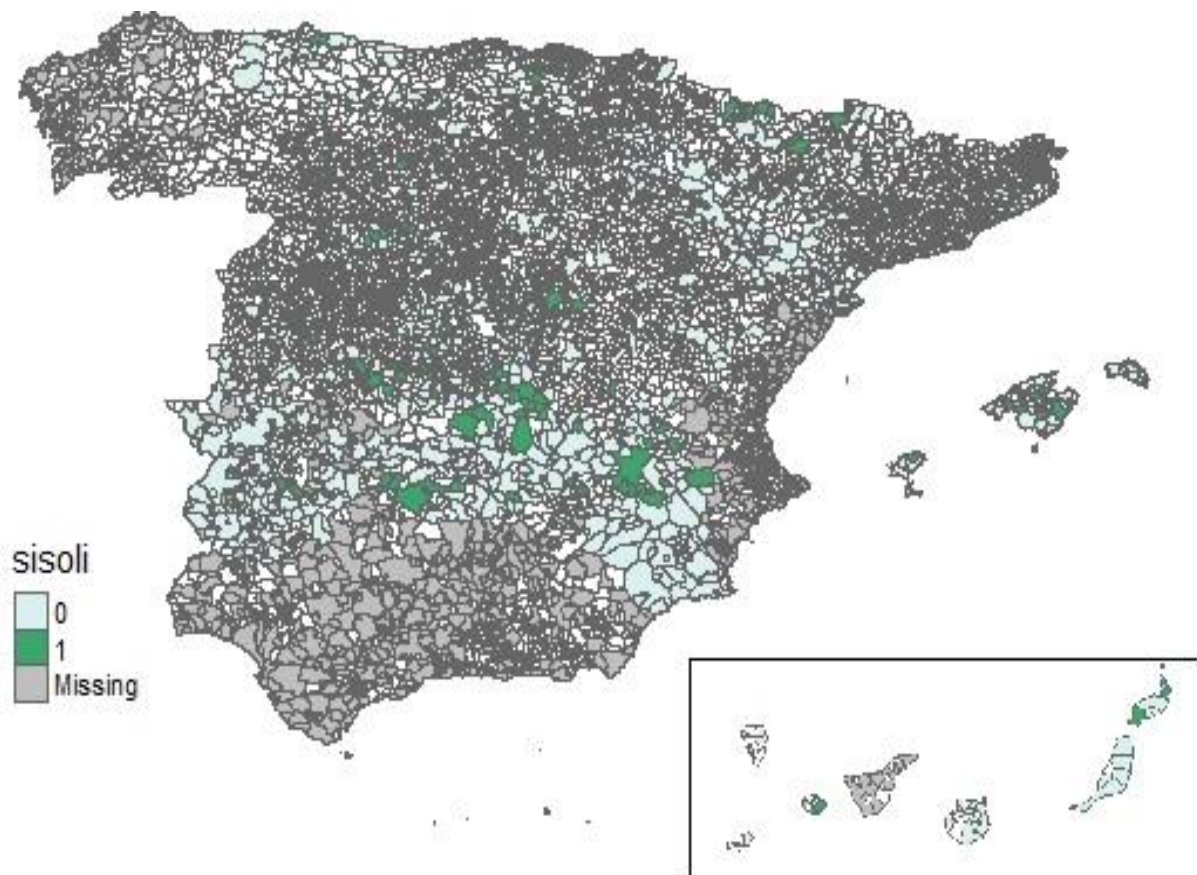
Nota: 0: Satisface cumplimiento de agua según criterio SIDBO5. 1: No satisface cumplimiento de agua según criterio SIDBO5. Municipio en gris: No aporta información.

Figura A8.6: MUNICIPIOS QUE CUMPLEN O NO CON EL CRITERIO DE AGUA (SIDQO). AÑO 2021



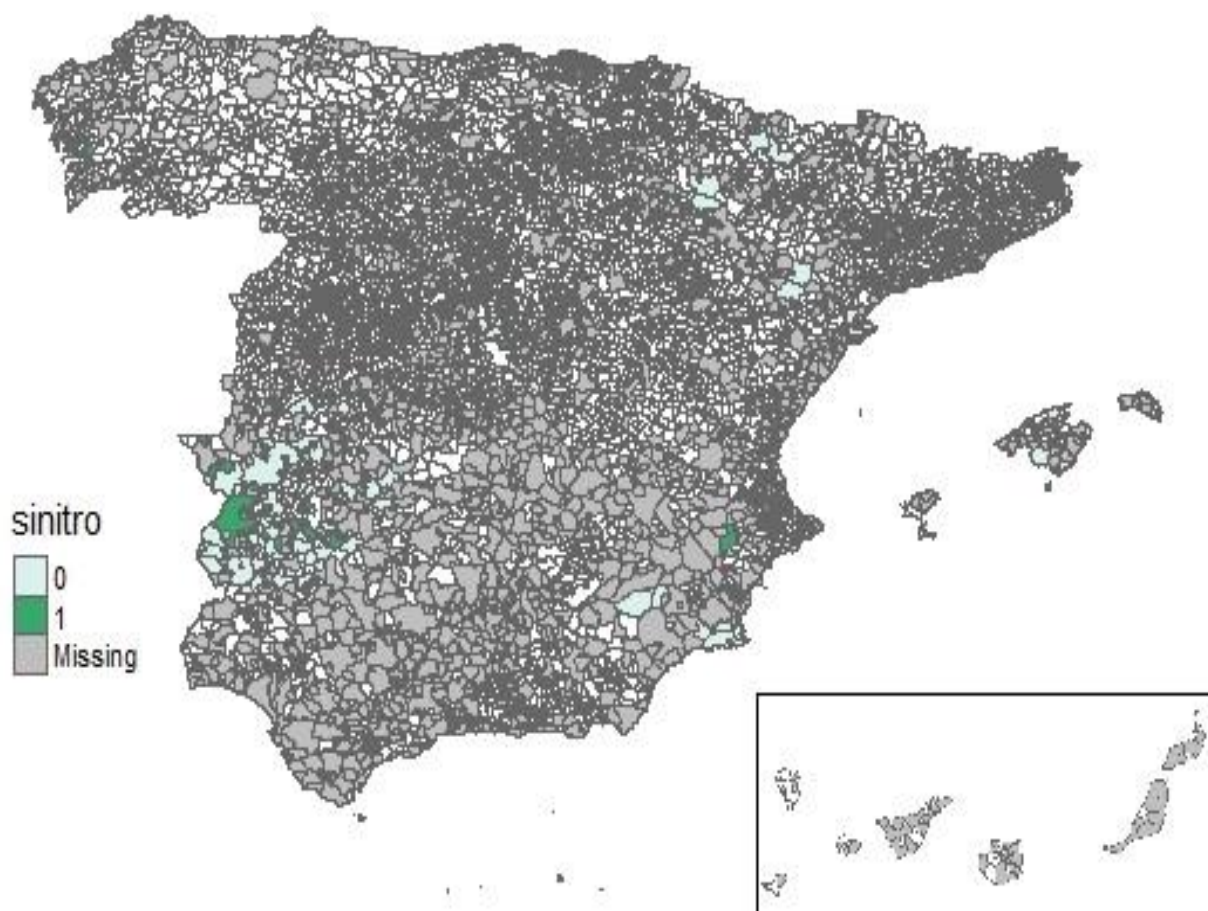
Nota: 0: Satisface cumplimiento de agua según criterio SIDQO. 1: No satisface cumplimiento de agua según criterio SIDQO. Municipio en gris: No aporta información.

Figura A8.7: MUNICIPIOS QUE CUMPLEN O NO CON EL CRITERIO DE AGUA (SISOLI). AÑO 2021



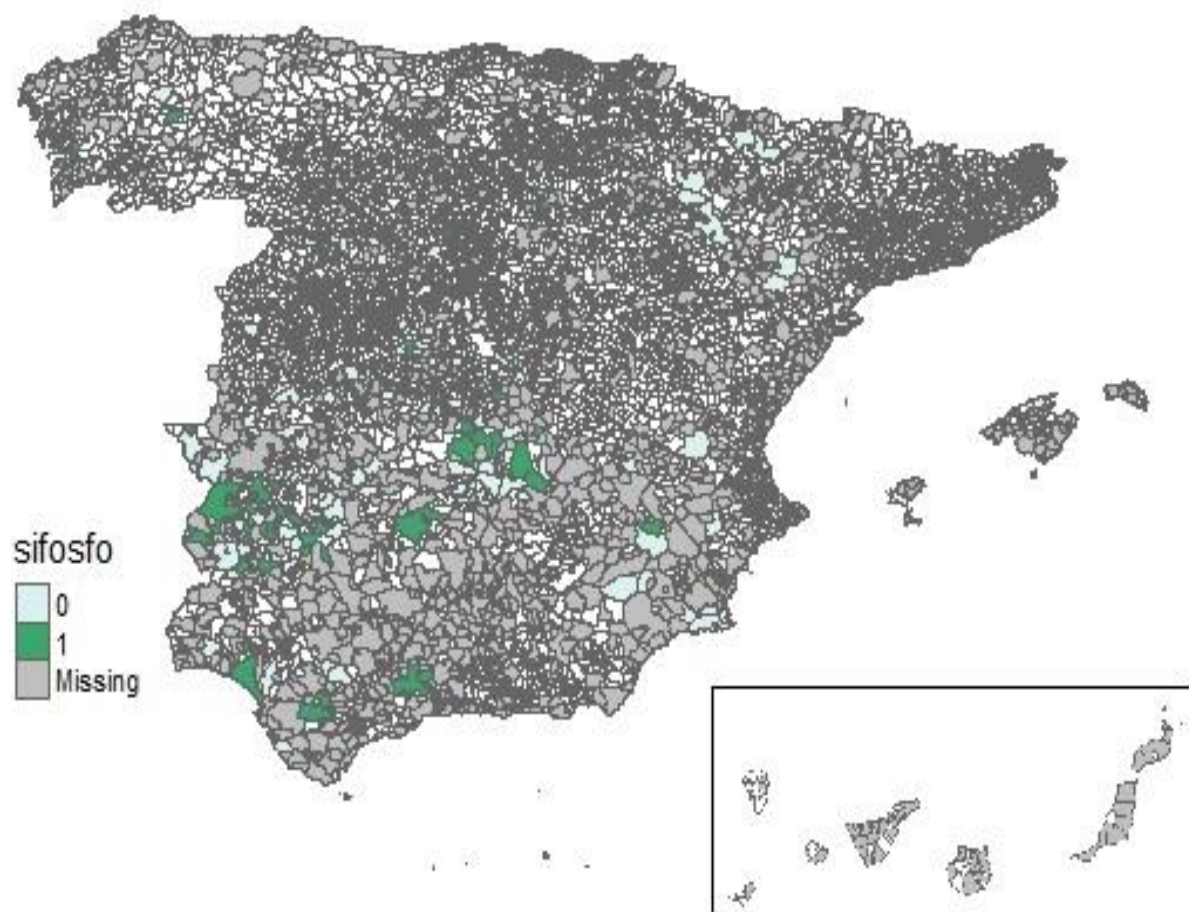
Nota: 0: Satisface cumplimiento de agua según criterio SISOLI. 1: No satisface cumplimiento de agua según criterio SISOLI. Municipio en gris: No aporta información.

Figura A8.8: MUNICIPIOS QUE CUMPLEN O NO CON EL CRITERIO DE AGUA (SINITRO). AÑO 2021



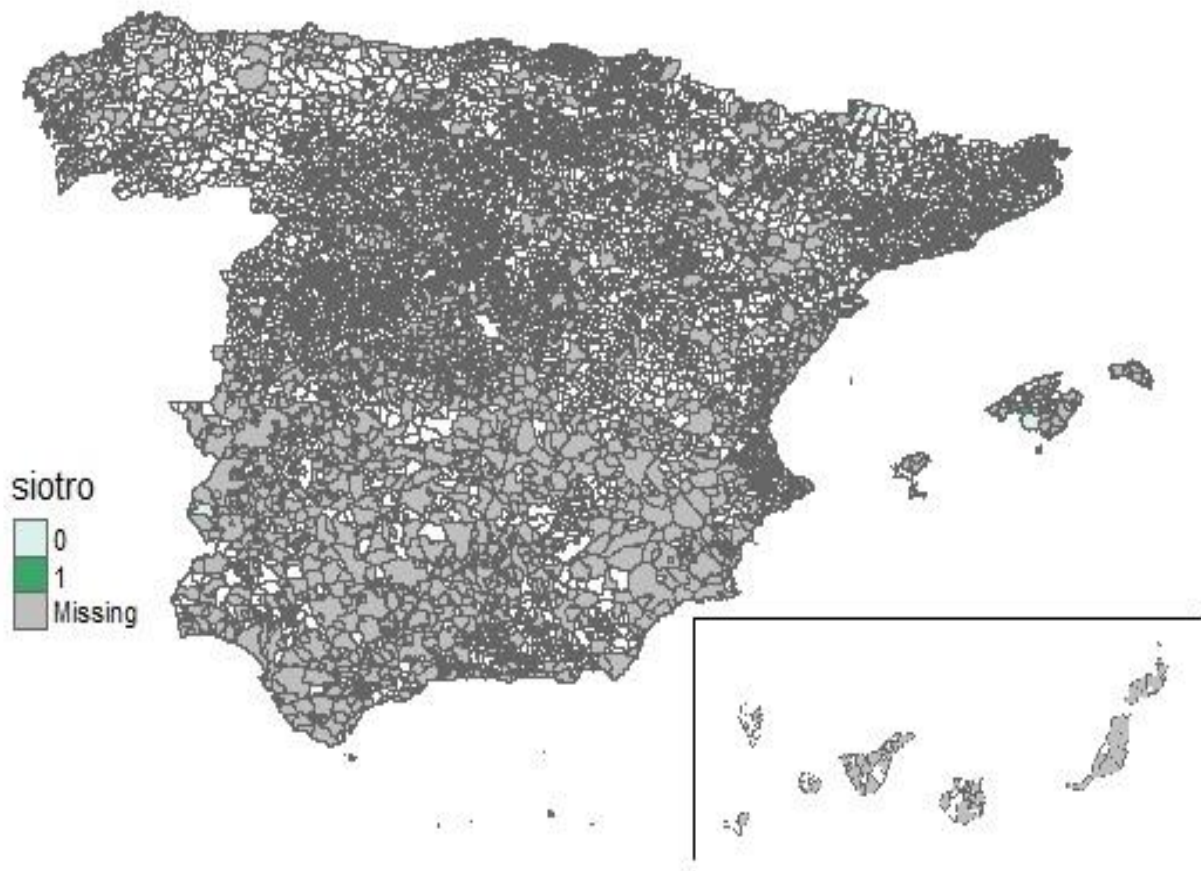
Nota: 0: Satisface cumplimiento de agua según criterio de SINITRO. 1: No satisface cumplimiento de agua según criterio SINITRO. Municipio en gris: No aporta información.

Figura A8.9: MUNICIPIOS QUE CUMPLEN O NO CON EL CRITERIO DE AGUA (SIFOSFO). AÑO 2021



Nota: 0: Satisface cumplimiento de agua según criterio de SINITRO. 1: No satisface cumplimiento de agua según criterio SINITRO. Municipio en gris: No aporta información.

Figura A8.10: MUNICIPIOS QUE CUMPLEN O NO CON EL CRITRIO DE AGUA (SIOTRO). AÑO 2021.



Nota: 0: Satisface cumplimiento de agua según criterio de SINITRO. 1: No satisface cumplimiento de agua según criterio SINITRO. Municipio en gris: No aporta información.