

**VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA  
CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS POR  
NITRATOS ( $\text{NO}_3^-$ ) DE ORIGEN AGRÍCOLA  
ECONOMIC VALUATION OF AQUIFER POLLUTION  
BY NITRATES ( $\text{NO}_3^-$ ) OF AGRICULTURAL ORIGIN**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA Y  
GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

Presentado por:

**D.<sup>a</sup> MARIA FERNANDA GALLEGO JIMÉNEZ**

Dirigido por:

**Dr. ALBERTO DEL VILLAR GARCÍA**

**Alcalá de Henares, 8 de junio de 2020**

## TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS .....	3
RESUMEN .....	3
PALABRAS CLAVE.....	4
INTRODUCCIÓN .....	4
JUSTIFICACIÓN .....	5
OBJETIVOS .....	6
GENERAL.....	6
ESPECÍFICOS.....	6
METODOLOGÍA.....	6
TÉCNICAS DE CONTINGENCIA .....	10
Humedales Artificiales.....	10
Modernización de regadíos .....	12
Desnitrificación con EDR.....	14
MODELIZACIÓN .....	16
RESULTADOS .....	17
DIAGNÓSTICO DEL MODELO .....	19
Gráfico Cuantil-Cuantil .....	19
Residuos estandarizados frente a Leverages .....	20
APLICACIÓN PRÁCTICA .....	20
Campo de Cartagena y Mar Menor.....	20
Municipio de L’Eliana .....	22
DISCUSIÓN .....	23
CONCLUSIONES.....	25
BIBLIOGRAFÍA .....	26

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información útil sobre Humedales .....	11
Tabla 2. CAE de la actuación "Modernización de Regadíos" .....	13
Tabla 3. Información útil sobre Modernización de Regadíos.....	13
Tabla 4. Análisis financiero corregido de proyecto L'Eliaana .....	15
Tabla 5. Información útil sobre Desnitrificación .....	16
Tabla 6. Sumario del modelo, arrojado por defecto por el software "r" .....	17
Tabla 7. Intervalo de confianza del modelo. Arrojado por defecto por el software "r" .....	18
Tabla 8. Variables para el caso práctico de la contaminación en el Campo de Cartagena.....	21
Tabla 9. Concentraciones de nitrato previstas para las aguas subterráneas en la L'Eliaana.....	22
Tabla 10. Variables para el caso práctico de la contaminación en L'Eliaana .....	22

## RESUMEN

En el presente trabajo, son utilizadas herramientas económicas y estadísticas para realizar la valoración económica de la contaminación de acuíferos por nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) de origen agrícola, mediante la síntesis de 3 técnicas de desnitrificación: los humedales artificiales, la electrodiálisis reversible y la modernización de regadíos. Según (MITECO, 2016), con los cultivos existentes y las dosis de fertilización manejada en España, se da una sobrefertilización media anual de 40 kg N/Ha, dato que será base para todos los cálculos de la investigación. Los resultados obtenidos presentan una regresión lineal multivariable que arroja el *Costo de contaminación por hectárea* según las variables de entrada: *Concentración inicial (C)*, *Tiempo de Remediación (t)*, *Volumen de agua (V)*, *Superficie de incidencia (S)* y *Años en la que transcurre la contaminación (A)*, la cual es una alternativa para valoración que contribuye con la toma de decisiones y concientización sobre el daño que se está incurriendo en un recurso tan indispensable y vital como lo es el agua. El modelo es aplicado en dos zonas de estudio: Campo de Cartagena y Municipio de L'Eliaana, dos contextos españoles de actualidad en donde se tiene afectación por las externalidades negativas generadas en las explotaciones agrarias.

## **PALABRAS CLAVE**

Desnitrificación, valoración económica, aguas subterráneas, nitratos, costo de reemplazo, humedales artificiales, costo anual equivalente, contaminación agrícola, regresión lineal multivariable.

## **INTRODUCCIÓN**

Las aguas subterráneas son reservas vitales para la preservación de los recursos hídricos, las cuales suplen en muchos casos los requerimientos necesarios para las actividades vitales del día a día. En España, se estima que su explotación ronda los 6.000 hm<sup>3</sup> al año (Andreu Rodes & Fernández Mejuto, 2019).

Una de las amenazas de dicho recurso se da con la presencia del compuesto nitrato (NO<sub>3</sub>) que llega al subsuelo principalmente debido a vertidos inadecuados antrópicos, ya sea por actividades industriales, de aguas residuales, lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos, acumulación e incorrecta disposición de residuos ganaderos, pero principalmente y según Eurostat en 2018, los fertilizantes minerales representan el 45% del aporte de nitrógeno a las aguas subterráneas de la Unión Europea.

La contaminación por nitratos afecta a numerosos acuíferos tanto españoles como en otros países europeos, al punto de que, en muchos de ellos, su concentración excede los estándares de calidad de agua de bebida establecidos para dicho compuesto (50 ml/L según RD 140/2003 de 7 de febrero). Al no ser indiferentes a esta problemática, se da la aprobación de la Directiva 676 de 1991 relativa a nitratos, cuyo objetivo es la reducción de la contaminación directa o indirecta de las aguas debido a los nitratos de origen agrario y prevención de su dilatación.

En España, el efecto del uso indiscriminado de fertilizantes, es que 267 masas de sus aguas subterráneas no presenten buen estado químico (Andreu Rodes & Fernández Mejuto, 2019), lo cual acarrea graves inconvenientes a la hora de querer aprovechar la reserva hídrica principalmente para consumo humano.

Es de saber que, como bien dice La Notte en 2014: *“No existe una estimación económica o monetaria de los ecosistemas o servicios ecosistémicos con validez*

*absoluta: cualquier ejercicio de valoración siempre está relacionado con el contexto*”, es decir, valorar monetariamente los servicios ecosistémicos será útil en la medida en que su propósito y aplicación estén claramente definidos. Es por esto que, en el presente trabajo, se pretende dar una estimación basada en tres formas de prevenir la contaminación o remediarla. Dicha valoración puede ser útil a la hora de plantear análisis económicos de algún proyecto que evite o arriesgue la intrusión de nitratos al suelo, estudios de impacto ambiental, o simplemente para crear conciencia de buscar una armonía con el progreso y la conservación ambiental, a través de una cuantificación más sonora como lo es el dinero que contaminar acarrea.

## **JUSTIFICACIÓN**

Las cantidades naturales de nitratos presentes en las aguas subterráneas son debido a materiales nitrogenados orgánicos como las proteínas de las plantas, animales y excretas de animales, posterior a su descomposición realizada por microorganismos. Al efectuar aplicaciones de fertilizantes nitrogenados en suelos muy permeables o en cantidades no aprovechables por las plantas, puede filtrarse fácilmente a través del perfil del suelo y entrar en el acuífero; el inconveniente con ello, es debido a que el nitrato es un compuesto muy móvil en el agua que no puede ser retenido por los materiales que componen el acuífero ni precipitarse como un mineral. Estos dos factores, permiten que grandes cantidades de nitrato disuelto permanezcan en el agua subterránea (Pacheco Ávila, Pat Canul, & Cabrera Sansores, 2002)

La liberación de nitrógeno al medio ambiente va en aumento, y esta afirmación es sustentada por Fernández Ruiz en 2007, además de por los múltiples estudios científicos, por la relación existente entre el incremento del contenido en nitratos, con el uso del suelo para el desarrollo agrícola, la evolución en los últimos años del consumo de fertilizantes y los cambios en el sistema de producción ganadera.

Y aunque los  $\text{NO}_3$  son un producto normal del metabolismo humano, el agua con altas concentraciones representa un riesgo para la salud, especialmente de los niños, por lo que se hace indispensable disponer de reservas de buena calidad para evitar sobrecostos en descontaminación o búsqueda de otras fuentes que sí cumplan con las calidades requeridas.

## OBJETIVOS

### **GENERAL**

Desarrollar una función para la valoración de la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos debido a la sobrefertilización de cultivos, mediante la relación de tres técnicas de prevención o remediación cuantificadas monetariamente.

### **ESPECÍFICOS**

- Valuar la capacidad contaminante de los nitratos según el coste de reemplazo o costo del daño potencial.
- Analizar el método de valoración monetaria basado en el proceso lógico y permisible de las técnicas estudiadas, dejando a criterio del lector la utilización de ella para la cuantificación de la contaminación por nitratos.
- Evaluar las diferentes técnicas de desnitrificación estudiadas y seleccionar el coste de este según el tratamiento más óptimo, dada las condiciones específicas de concentración y superficie de incidencia.
- Estimar el costo de la contaminación incurrida en promedio anualmente por hectárea debido a la sobrefertilización de las zonas de estudio.

## METODOLOGÍA

Con el propósito de estimar el coste que implica la contaminación de un acuífero por la sobrefertilización de un campo de cultivo, se parte a la búsqueda de 3 técnicas que corrijan esta afectación. Los métodos seleccionados fueron debido a la disponibilidad de la información sobre ellos, las diferentes características tanto en forma en la que operan, la concentración de nitrato que admiten, el costo de construcción, operación y mantenimiento y la utilización actual que se está dando en España. Las técnicas seleccionadas, que serán detalladas más adelante, son: Desnitrificación mediante Electrodiálisis Reversible, Depuración con Humedales Artificiales y Modernización de Regadíos. De estas, las dos primeras se utilizarían como "costo de reemplazo" de la contaminación, el cual, según (Dixon & Stefano, 1998), citado por (Soto, 2010): *"Es a menudo usado como una estimación del costo de la contaminación. Este enfoque se concentra en el costo del daño potencial medido a través de estimaciones ex ante*

*contables o ingenieriles de los costos de reemplazo o restauración*". El último de los tratamientos seleccionados (Modernización y automatización de regadíos) se tiene en cuenta como la forma de prevenir que la contaminación suceda, es decir, el costo de prevención.

La razón por la que se cuantifica el costo de contaminar un acuífero a través del costo de reemplazo y el costo de prevención, es debido a que, si la cuantificación se realiza basada en los daños cometidos, se incrementa la dificultad de identificar (y cuantificar) todos los beneficios que se pierden por la contaminación. Dichos beneficios van desde la disponibilidad de poseer agua de calidad para el consumo humano y el riego, la obligación de búsqueda y perforación de pozos para extracción de agua de mejor calidad en otra zona, que, como dicen (Fernández Ruiz, López Geta, Navarrete Martínez, & Sánchez Guzmán, 1989), no siempre es una posibilidad en algunas zonas de España, donde los recursos subterráneos constituyen la única alternativa de suministro. Por lo tanto, en el presente estudio se utiliza el costo de reemplazo para valorar la contaminación por nitratos debido a que como afirman (La Notte, Maes, Grizzetti, Bouraoui, & Zulian, 2012), *"El riesgo de no considerar todos los beneficios involucrados haría que la valoración sea incompleta"*.

La intensificación de la agricultura en pro de mayores producciones, ha traído consigo un aporte excesivo de abonado, e indirectamente, una contaminación de aguas subterráneas, llegándose a cuantificar para el año 2013, según se muestra en el Informe de Seguimiento de la Directiva 676 de 1991 sobre contaminación del agua por nitratos utilizados en la agricultura, un exceso de 38 kg/ha de abonado inorgánico en el Cuatrienio 2012-2015. Según (MITECO, 2016), este dato en la actualidad, con los cultivos existentes y las dosis de fertilización manejada en España, se podría actualizar del orden de 10-70 kg de N /ha al año, con media de 40 kg N/ha. La realidad estaría más cerca a los 70 kg si se tiene en cuenta el abonado orgánico de lodos y purines y la reincorporación de los restos de cosecha al terreno, pero, para efectos prácticos en el presente trabajo, se contemplará el costo de revertir el equivalente a la contaminación media de un año, es decir, 40 kg de nitrógeno por hectárea. Entonces, las medidas seleccionadas para la remediación, llegarán hasta el punto de remediar

únicamente la sobrefertilización con la posibilidad de dimensionarse para cierto número de hectáreas y ciertos años en los que se incurrió la contaminación, según la concentración inicial, el tiempo que se va a invertir para la remediación y el volumen de agua.

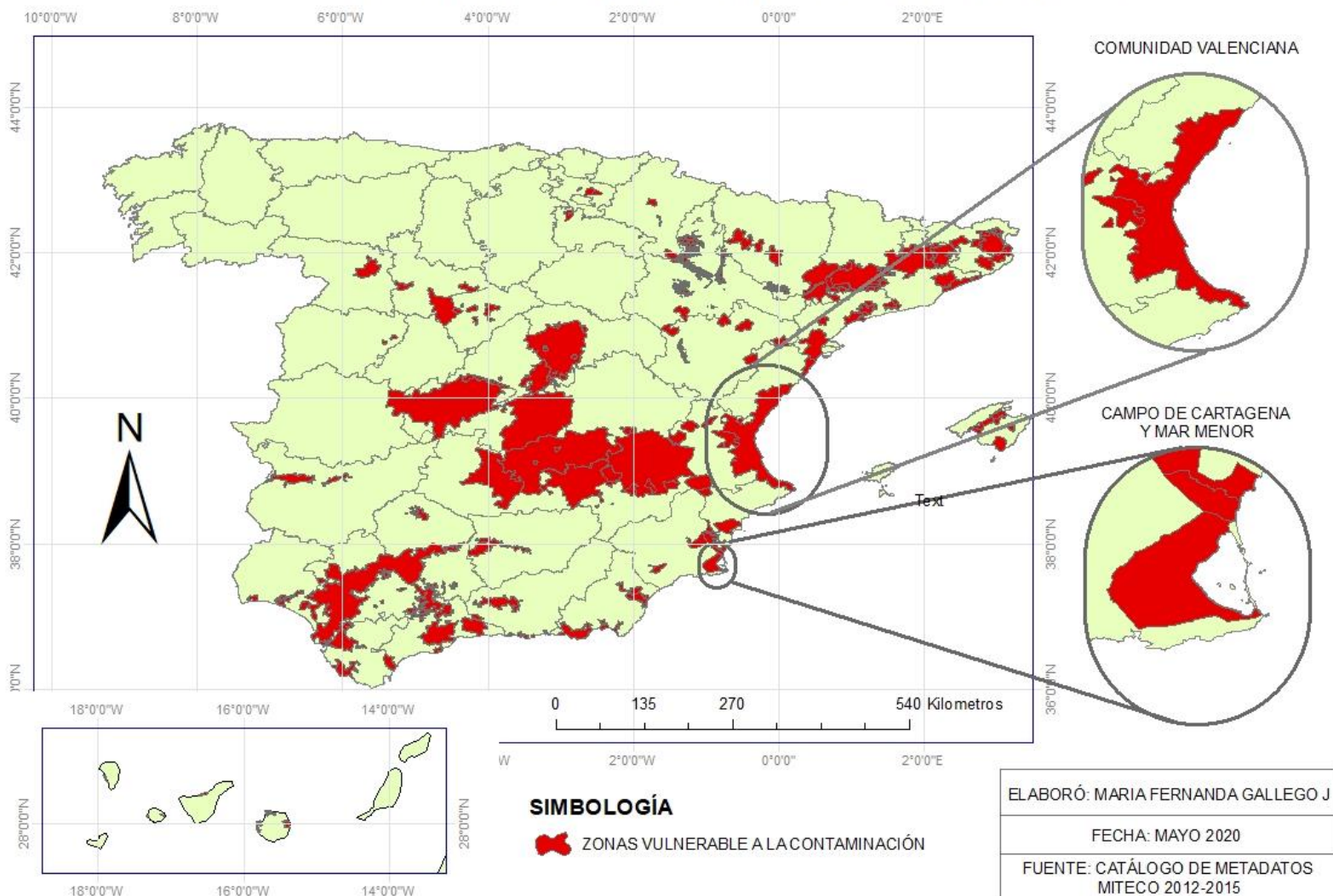
Las zonas de estudio o base para este proyecto, son el área del campo de Cartagena y el Mar Menor, que en la actualidad atraviesan por una crisis debida principalmente a los nitratos de origen agrario de la que se hablará más adelante, y la Comunidad Valenciana. Ambos sectores, como se evidencia en el Mapa 1, poseen alta congregación de riesgo de contaminación de sus aguas subterráneas, según el Informe cuatrienio 2012-2015. Dir 91/676/CEE (MITECO, 2016 (2)) y de allí, se extraen dos de las técnicas de remediación que se presentan en el análisis: La Desnitrificación y la Modernización de Regadíos.

La regresión lineal múltiple permite generar un modelo lineal en el que el valor de la variable dependiente o respuesta (Y) se determina a partir de un conjunto de variables independientes llamadas predictores ( $X_1, X_2, X_3...$ ) (Amat Rodrigo, 2016), es por esto que se realizará la cuantificación del costo por hectárea de la implementación de las tres técnicas estudiadas, normalizadas individualmente para encontrar, en aplicabilidad real, un modelo que arroje el *Costo de contaminación por hectárea (Y)* según la *Concentración inicial ( $C=X_1$ )*, *Tiempo de Remediación ( $t=X_2$ )*, *Volumen de agua ( $V=X_3$ )*, la *Superficie de incidencia ( $S=X_4$ )* y los *Años en la que transcurre la contaminación ( $A=X_5$ )*.

Para la modelación matemática, se utilizará el software “r”, el cual es una herramienta informática (específicamente, un lenguaje computacional) potente para realizar distintos cálculos científicos, numéricos y estadísticos, así como para crear gráficas y figuras (Rodríguez Silva, 2019).



## RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS POR NITRATOS EN ESPAÑA



Mapa 1. Identificación de riesgo de contaminación de acuíferos por nitratos en España.

La normalización de las variables se realizará llevado el costo de construcción, operación y mantenimiento de cada tratamiento a Costo Anual Equivalente (CAE) y actualizado a un mismo año, utilizando la corrección del Índice de Precios de Consumo (IPC) para poder tener la capacidad de compararlos y relacionarlos.

El CAE es el costo equivalente por año de poseer un activo a lo largo de toda su vida (Emery, Finnerty, & Stowe, 2000), la tasa a implementar es del 4%, debido a que esta fue la utilizada en el proyecto de desnitrificación en la Comunidad Valenciana.

Como los estudios investigados se realizaron en diferentes años, los precios no podrían ser comparados sin añadir la inflación que han tenido durante la diferencia de tiempo. El índice de precios al consumidor (IPC) mide la evolución del costo promedio de una canasta de bienes y servicios representativa del consumo final de los hogares, expresado en relación con un período base. El IPC va de la mano con la inflación, siendo esta, la variación porcentual del IPC entre dos periodos. En particular la inflación anual se mide tomando el IPC de un mes y calculando su variación frente al dato del mismo mes del año anterior (Banco de la República, s.f.) El Instituto Nacional de Estadística (INE) de España, posee un aplicativo web en el que se calcula la variación del IPC general entre dos períodos para el total nacional, las comunidades autónomas o las provincias, registro muy completo con información que va desde marzo de 1954 hasta la actualidad.

## ***TÉCNICAS DE CONTINGENCIA***

### ***Humedales Artificiales***

Los Humedales Artificiales son sistemas óptimos para la depuración de aguas residuales. En la composición de dichos vertidos, se encuentran nitratos provenientes del metabolismo de los seres humanos y la eliminación o transformación de estos oscila entre el 33% y el 50% (García, y otros, 2016). Esta técnica está constituida por lagunas o canales poco profundos (normalmente menos de 1 m), plantados con especies adaptadas a zonas húmedas (macrófitos acuáticos), en donde se deposita el vertido (en nuestro caso será agua extraída de acuíferos contaminada por nitratos) y allí se dará un tratamiento natural que involucra procesos tanto biológicos, como

químicos y físicos. El estudio de esta técnica ha sido incluido por multitud de autores, según recuento de Gren en 1994, y es confirmada su efectividad por La Notte en 2012, como “*La mejor alternativa técnica para retener y eliminar nitrógeno a bajas concentraciones*”.

Las estimaciones de costos de construcción, operación y mantenimiento de los humedales, son calculadas por Cuttle y otros en 2007, el cual realiza un inventario en el Reino Unido buscado como objetivo un método para controlar la contaminación difusa del agua por la agricultura. El inventario se utilizó para calcular los costos anuales necesarios invertidos en un humedal según los kilogramos de nitrógeno que podía depurar. El valor arrojado dentro de su estudio, realizado en el año 2000, es de 2463 € /ton N. Transpuesto a el caso español, donde se cuenta con 40 kg de nitrógeno sobrefertilizado por hectárea al año, se transforma en un costo de 98,52 € /Ha/año para el año 2000.

En la Tabla 1, se presenta el análisis financiero para valorizar la inversión a términos de 2016, año al que deseamos llevar el costo de las técnicas estudiadas. E igualmente, otros datos de interés para el actual estudio.

Tabla 1. Información útil sobre Humedales

HUMEDALES	
Costo Implementación (€/ha/año) <sup>1</sup>	98,52
Año	2000
IPC a 2016 (%) <sup>2</sup>	45,40%
Costo corregido (€/ha/año)	143,25
Remediación (%) <sup>3</sup>	41,5%
Concentración inicial máx (mg/l)	85,47
Concentración final (mg/l) <sup>4</sup>	50
Tiempo remediación (años)	3 a 10

Fuente: Elaboración propia basada en: <sup>1</sup> (Cuttle, y otros, 2007), <sup>2</sup> (Instituto Nacional de Estadística, s.f.), <sup>3</sup> (García, y otros, 2016), <sup>4</sup> RD 140/2003 de 7 de febrero.

### ***Modernización de regadíos***

Esta estrategia se selecciona, debido a que ya ha sido estudiado su costo y viabilidad dentro del proyecto “*Análisis de soluciones para el objetivo del vertido cero al Mar Menor proveniente del Campo de Cartagena*”. Para contextualizar un poco acerca de esta realidad, el diario El País, con su artículo “La asfixia del Mar Menor” de octubre de 2019, comenta lo sucedido en este ecosistema español contaminado por nitratos:

“Los expertos en la laguna sitúan el origen del desastre en la gestión de la tierra que rodea las 17.000 hectáreas de la masa de agua. Sobre todo, apuntan a la agricultura intensiva que ha contaminado el terreno y las aguas subterráneas con nitratos procedentes de los abonos, que acaban en el mar Menor y lo eutrofizan [suben los nutrientes que hacen crecer al fitoplancton, provocando una disminución del oxígeno]. La poca o nula planificación urbanística con unas redes de saneamiento mal diseñadas multiplica el problema (...)”

Para la mitigación de estos inconvenientes, se han planteado diversos proyectos, analizando las posibilidades más viables para que vertido al Mar Menor sea cero.

Dentro de las alternativas analizadas, la seleccionada dentro de las que involucran la contaminación de aguas subterráneas, es la reducción al mínimo de los retornos de riego, debido a que estos aumentan el nivel freático, dejándolo expuesto de 2 a 3 metros de profundidad en litoral, siendo más propenso a la infiltración directa de nutrientes y salmuera (MITECO, 2016).

La medida que se proponen que posee una mayor aceptación, es la de modernizar y automatizar los sistemas de riego de las explotaciones agrarias, fomentando tecnologías para adecuar las cantidades y tiempos de riego según el estado fisiológico de la planta, los mantenimientos de conducciones que puedan generar fugas de fertilizantes y el establecimiento del límite máximo recomendado de conductividad para

el agua de riego con lo cual se garantiza que no se añada fertilización en exceso y así se evita a largo plazo la contaminación incurrida.

En la Tabla 2 se presenta la normalización de costo de inversión por hectárea de la implementación de esta medida, según lo requerido para el presente análisis.

Tabla 2. CAE de la actuación "Modernización de Regadíos"

<b>CAE MODERNIZACIÓN DE REGADÍOS</b>	
<b>Inversión</b>	
Modernización (€/ha)	6.370,78
Automatización (€/ha)	1.657,50
<b>Costes O&amp;M anuales</b>	
Modernización (€/ha)	500
Automatización (€/ha)	225
Tasa descuento (%)	4%
Periodo de Amortización (años)	25,00
CAE Modernización (€/año)	407,81
CAE Automatización (€/año)	106,10
Conste de inversión (€/ha/año)	1.238,91

Fuente: Elaboración propia basada en (MITECO, 2016)

Al igual que lo realizado en los humedales, en la Tabla 3 se presenta los datos consignados en el informe del Mar Menor, que son de utilidad para el presente análisis.

Tabla 3. Información útil sobre Modernización de Regadíos

<b>MODERNIZACIÓN DE REGADÍOS</b>	
Costo Implementación (€/ha/año)	1.238,91
Año	2016
Remediación (%)	100%
Concentración inicial máx (mg/l)	300
Concentración final (mg/l)	50
Tiempo remediación (años)	10 a 25

Fuente: Elaboración propia basada en (MITECO, 2016)

### ***Desnitrificación con EDR***

Como se mencionó en el Mapa 1, la zona de la Comunidad Valenciana se ha visto afectada por la contaminación en sus acuíferos al ser una zona vulnerable y de alta actividad agraria. En el municipio de L'Elia, perteneciente a dicha provincia, se llevó a cabo la construcción de una planta para desnitrificar el agua procedente de cinco pozos que constituyen las fuentes de recursos del municipio. La iniciativa se da al encontrarse con aguas subterráneas que no cumplían con la calidad requerida para el consumo humano según el R.D. 140/2003 del 7 de febrero, y de paso, los caudales de rechazo del proceso de desnitrificación, utilizarlos para el riego de jardines, de manera que se cubriera la demanda prevista cumpliendo con las características exigidas.

El método utilizado en la planta desnitrificadora posee tres etapas:

Pretratamiento físico: Se realiza mediante un sistema de filtros de cartucho, posterior al ingreso de agua extraída de los pozos.

Pretratamiento químico: Para evitar la formación de compuestos insolubles, y el riesgo de precipitación de sales, dosifican al agua con ácido clorhídrico y un antiincrustante. Además, se dosifica con hipoclorito sódico como desinfectante en varios puntos de la instalación.

Tratamiento: Como sistema de tratamiento en la planta se utiliza la Electrodiálisis Reversible (EDR). El proceso consiste en la separación electroquímica en donde los iones son transferidos a través de membranas de una solución menos concentrada a otra de mayor concentración, como resultado de una corriente eléctrica continua. La Electrodiálisis Reversible (EDR) es una versión de la Electrodiálisis en la que se invierte la polaridad de los electrodos varias veces por hora, lo que induce una autolimpieza química (EMIMET, s.f.)

Dentro del análisis financiero y de recuperación de costes del informe de viabilidad del proyecto, se presentan los costes de inversión, los m<sup>3</sup>/día facturados por la desnitrificadora, costes de operación y mantenimiento, y con ello se llega al valor de la

desnitrificación de un metro cúbico de agua (0,391 Euros, encontrado en el informe), sin embargo, después del análisis de las cifras y las operaciones realizados allí, se encuentran varios errores delicados que han de ser corregidos en la Tabla 4 para poder continuar con el estudio del caso.

Tabla 4. Análisis financiero corregido de proyecto L'Eliana

<b>ANÁLISIS FINANCIERO REAL L'ELIANA</b>	
Costo inversión real	17.433.604,95 €
Costo O&M	52.156.473,79 €
m <sup>3</sup> /día facturados	20.039
Nº días de funcionamiento/año	365
m <sup>3</sup> /año facturados	7.314.235
Porcentaje de la inversión en obra civil	72,06%
Porcentaje de la inversión en maquinaria	27,94%
Periodo de Amortización de la Obra Civil	25 años
Período de Amortización de la Maquinaria	15 años
Tasa de descuento seleccionada	4%
CAE Obra Civil €/año	804.160,25 €
CAE Maquinaria €/año	438.098,53 €
CAE Reposición €/año	1.242.258,78 €
CAE O&M	3.338.638,26 €
Costes de inversión €/m <sup>3</sup> /año	0,17
Coste O&M €/m <sup>3</sup> /año	0,46
Precio de la desnitrificación por m <sup>3</sup>	0,63 €

Fuente: Elaboración propia basada en (AcuaMed, 2007)

Para encontrar el rendimiento de la técnica, se utilizó los datos arrojados por (Ben Sik Ali, Mnif, Hamrouni, & Dhahbi, 2010) en donde la concentración de nitrato en las aguas salobres naturales pudo ser reducida desde 225 hasta 25.5 ppm (eliminación del 88%), obteniendo un valor menor que el estipulado por la OMS.

En la Tabla 5 se presentan los datos recopilados del Informe de Viabilidad y elaboración propia, que serán útiles a la hora de realizar la modelación de la función que permita calcular el costo de contaminar con nitrato.

Tabla 5. Información útil sobre Desnitrificación

<b>DESNITRIFICACIÓN</b>	
Costo Implementación (€/ha/año)	504
Año	2007
IPC a 2016 (%)	17,30%
Costo corregido (€/ha/año)	591,19
Remediación (%)	88%
Concentración inicial máx (mg/l)	225
Concentración final (mg/l)	25,5
Tiempo ejecución (años)	1 a 3

Fuente: Elaboración propia basada en (AcuaMed, 2007), (Instituto Nacional de Estadística, s.f.), (Ben Sik Ali, Mnif, Hamrouni, & Dhahbi, 2010).

### **MODELIZACIÓN**

Para la búsqueda del modelo que se ajuste a la situación, se simularon 91 casos aleatorios equiprobables de combinaciones entre concentración de nitratos en aguas subterráneas (acotada de entre 50 a 500 mg/l), tiempo en que se desea realizar la remediación (tomada de 1 a 25 años) y costo por m<sup>3</sup> de remediar 40 kg de nitrógeno en estas condiciones. En función de la concentración y el tiempo, se selecciona el tratamiento, que tiene su coste específico de utilización, y adicionalmente, el tiempo en el que se desee realizar la remediación, implica el cambio en el Coste Anual Equivalente de los Humedales o la Modernización de regadío, debido a que se difiere los costes anuales en mayor o menor número de años. En el Gráfico 1 se aprecian la relación de las variables de entrada “Concentración” y “Tiempo” de la combinación de las tres técnicas estudiadas, con la variable de salida “Costo de contaminación”, esta última en Euros/Metro<sup>3</sup>. En donde se evidencia que, con concentraciones más altas de nitrato, se incrementa el costo de contaminación, e igualmente, una disminución en el tiempo de remediación genera un aumento en el costo total (o su inversa, cuando se realiza en menor tiempo la remediación, se aumenta el costo).



## Costo vs Concentración según año

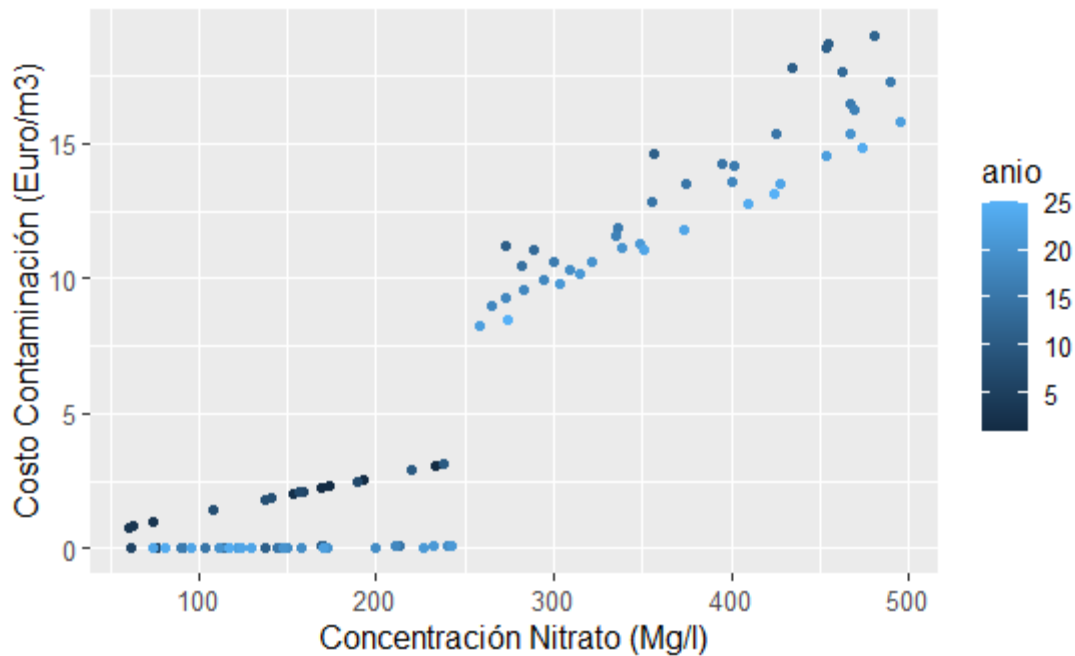


Gráfico 1. Relación entre Concentración, Año y Costo de Contaminación

## RESULTADOS

Posterior a una larga analítica, se logra conseguir un modelo que parece ajustarse a los sucesos. El sumario obtenido se presenta en la Tabla 6 en donde se evidencia información útil para validar dicho modelo.

Tabla 6. Sumario del modelo, arrojado por defecto por el software "r"

```

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -5.346e-01  3.318e-01  -1.611  0.11074
I(concentracion^2)  1.094e-04  8.456e-06  12.937  < 2e-16 ***
I(concentracion^2):año -1.348e-06  4.411e-07  -3.056  0.00297 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.107 on 88 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8991,    Adjusted R-squared:  0.8969
F-statistic: 392.3 on 2 and 88 DF,  p-value: < 2.2e-16
  
```

Los P-valores aparecen en la columna  $Pr(>|t|)$ , nos ayuda a rechazar las hipótesis de que los coeficientes de la primera columna sean nulos, al estar por debajo del umbral típico de 0,05. Además, se obtiene un  $R^2$  corregido de 0,8969, lo que significa que en

el modelo queda explicado el 89% de la varianza. Es un  $R^2$  bastante aceptable por lo que el modelo se ajusta bien a los datos.

La función resultante es del tipo polinómica de segundo grado para la variable *Concentración*. Además, debido a la interacción de la variable *Año* apreciada dentro de lo visto en la Gráfico 1, normalmente se resuelve realizando el producto cartesiano de la misma con aquella que mejor explica la salida, es decir la concentración.

La expresión matemática del modelo encontrado en r queda, por tanto, como se aprecia en la Ecuación 1:

$$\text{Costo1} \left( \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right) = |-5,35 \cdot 10^{-1} + 1,09 \cdot 10^{-4} * C^2 - 1,35 \cdot 10^{-6} * t * C^2| \quad (1)$$

En donde: C= Concentración de nitratos en el acuífero estudiado medida en mg/l

t= Tiempo medido en años, en el que se desea llevar a cabo la remediación

El valor absoluto se ha incluido debido a que, en la Tabla 7, se evidencia que, en los intervalos de confianza del modelo se podría llegar a un valor negativo. Lo cual no es adecuado al momento de cuantificar una variable como lo es Euros /m<sup>3</sup>.

Tabla 7. Intervalo de confianza del modelo. Arrojado por defecto por el software "r"

	2.5 %	97.5 %
(Intercept)	-1.193985e+00	1.248209e-01
I(concentracion^2)	9.259272e-05	1.262019e-04
I(concentracion^2):año	-2.224510e-06	-4.712692e-07

Por último, se incorporan al modelo previo, las demás variables que tienen una relación proporcional con este por lo que, para conocer el costo por hectárea total del proyecto de remediar la contaminación incurrida, la función se aprecia en la Ecuación 2.

$$\text{Costo2} \left( \frac{\text{€}}{\text{Ha}} \right) = \frac{|-5,35 \cdot 10^{-1} + 1,09 \cdot 10^{-4} * C^2 - 1,35 \cdot 10^{-6} * t * C^2| * A * V}{S} \quad (2)$$

Donde, añadida a las variables de la ecuación anterior, se tiene:

S= Superficie donde se realiza la afectación medido en hectáreas

A= Años durante los que se incurrió la contaminación

V= Volumen de agua afectada medida en metros cúbicos

### **DIAGNÓSTICO DEL MODELO**

Los resultados obtenidos son sometidos al cumplimiento de los supuestos mediante los gráficos de los que se hablará a continuación, de modo tal que se compruebe que el ajuste obtenido sea correcto y pueda utilizarse.

#### **Gráfico Cuantil-Cuantil**

El modelo requiere cumplir con la hipótesis de normalidad la cual se comprueba en la Gráfico 2 mediante un gráfico Cuantil- Cuantil, o QQ plot normal de los residuos. Con este, se puede comparar la distribución empírica de los datos con la distribución Normal. Por tanto, dicho gráfico se puede considerar como una técnica gráfica para la prueba de normalidad de un conjunto de datos (Castillo Gutiérrez & Lozano Aguilera, 2007). Dado que los puntos están bastante alineados, la normalidad también es aceptable.

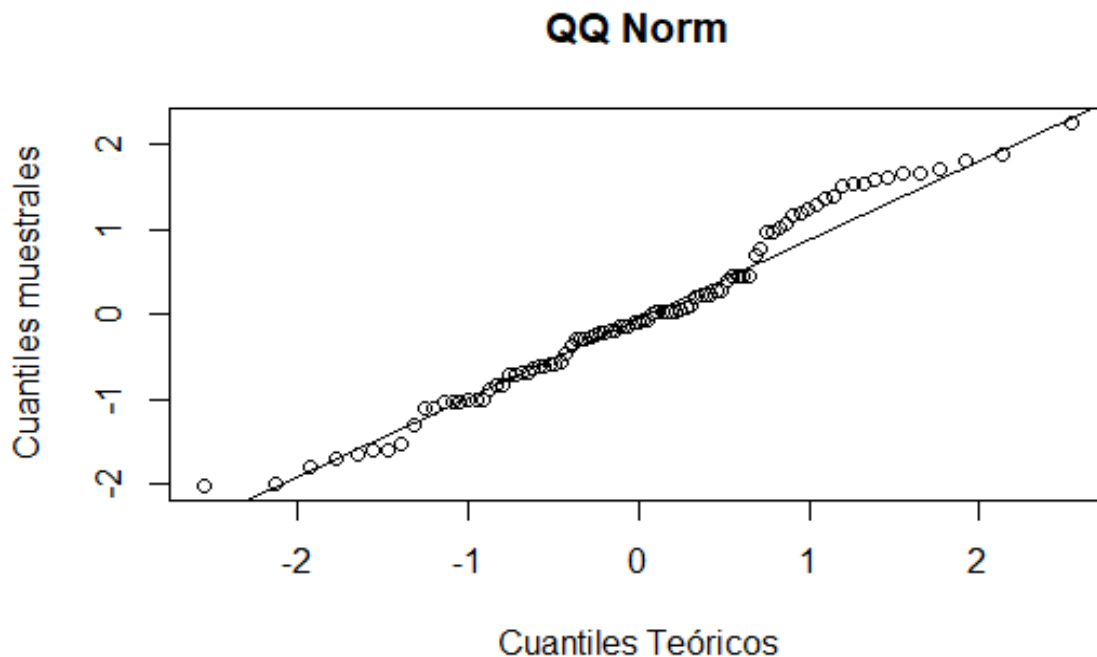


Gráfico 2. Gráfico Cuantil- Cuantil para comprobar normalidad de los residuos. Arrojado por defecto por el software "r"

### **Residuos estandarizados frente a Leverages**

El Gráfico 3, llamado “Residuos estandarizados frente a Leverages”, se utiliza para detectar puntos que influyen importantemente en el cálculo de las estimaciones de los parámetros. En este caso, no se detecta ningún punto fuera de los límites que establecen las líneas discontinuas por lo que no se encuentran errores debido a las observaciones.

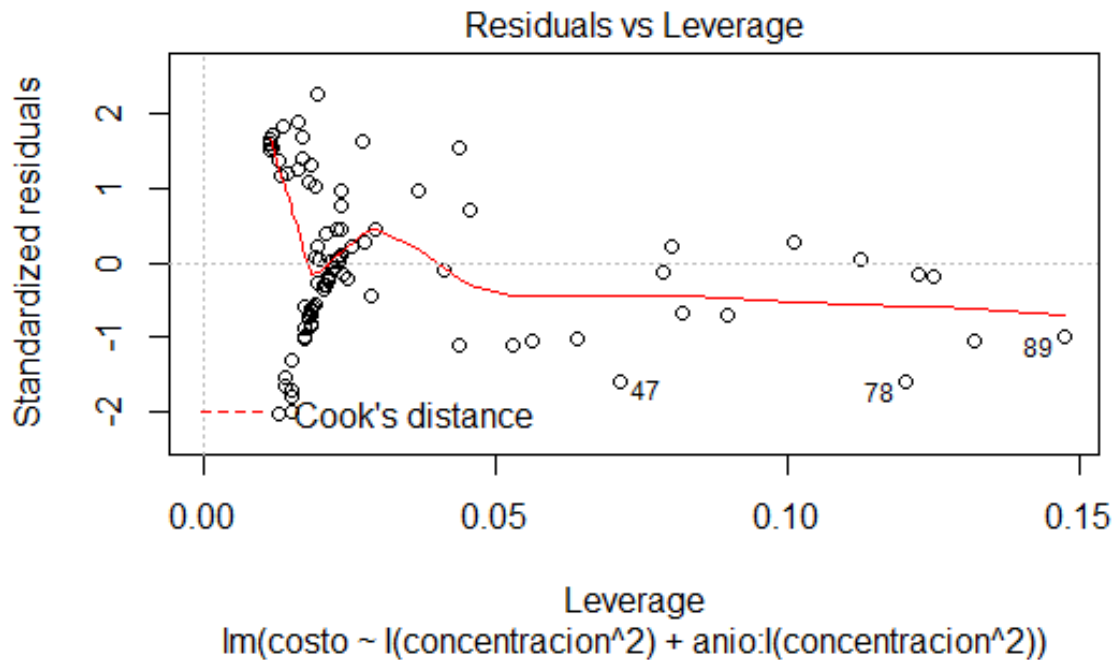


Gráfico 3. Residuos estandarizados vs Leverages. Arrojado por defecto por el software "r"

Los gráficos parecen indicar que los residuos son aleatorios, independientes y normales, por lo que se puede pasar a su aplicación práctica.

## **APLICACIÓN PRÁCTICA**

### ***Campo de Cartagena y Mar Menor***

Para el caso ya mencionado de la contaminación incurrida sobre las aguas subterráneas del Campo de Cartagena, que van a parar al Mar Menor, se han propuesto técnicas para contener la problemática. En la Tabla 2 donde se presenta el CAE realizado del proyecto de modernización y automatización de los regadíos de campos de cultivo, presentado en el documento de *Análisis de soluciones para el*

objetivo del vertido cero al Mar Menor proveniente del Campo de Cartagena, cuantifica la actuación por hectárea para remediar 40 kg de nitrógeno con la cifra de 1.238,91 €/ha/año. Realizando el mismo caso mediante el nuevo modelo creado, se tienen los valores de las variables en la Tabla 8.

Tabla 8. Variables para el caso práctico de la contaminación en el Campo de Cartagena

CASO PRÁCTICO ACUIFERO CAMPO DE CARTAGENA			
Variables	Valor	Unidades	Detalles
t	4	Años	Se realiza la actuación de restauración en 48 meses (Del Villar & Gómez, 2019).
S	11860	Ha	Se utiliza el 25% de las hectáreas del campo de Cartagena, ya que se infiere que es una zona altamente tecnificada (Del Villar & Gómez, 2019).
C	300	mg/L	Concentraciones de nitrato encontradas en la zona del Mar Menor (MITECO, 2016)
A	1	Años	Equivalente a la contaminación incurrida durante un año
V	1581347	m3	Para la concentración dada, se requieren estos m3 para remediar 40 Kg/ha

Así, reemplazando en la Ecuación 2:

$$\text{Costo2} \left( \frac{\text{€}}{\text{Ha}} \right) = (|-5,35 \cdot 10^{-1} + 1,09 \cdot 10^{-4} * 300^2 - 1,35 \cdot 10^{-6} * 4 * 300^2| * 1 * 1581347) / 11860$$

$$\text{Costo2} \left( \frac{\text{€}}{\text{Ha}} \right) = 1171,87$$

La diferencia entre el costo real y el calculado es de 67,04 €, siendo más reducido el precio de la forma calculada. Esto puede deberse a que la técnica combina posibles tratamientos para la condición de concentración y tiempo de remediación, que en sí pueden ser más económicas que modernizar. Sin embargo, se constata la proximidad del resultado con la realidad.

Conociendo este elevado valor de contaminar por hectárea, se podría pensar en estrategias antes de que ocurra la contaminación, como la exigencia de que anualmente se invierta esta cantidad de dinero en la modernización y automatización de la explotación para así fomentar la aplicación de tecnologías limpias.

### **Municipio de L'Eliana**

Como ya se ha mencionado, el municipio de la Comunidad Valenciana estudiado, posee altas concentraciones de nitratos en sus aguas subterráneas, como se muestra en la Tabla 9. Para esta aplicación práctica, se hará el supuesto de que el agua fue contaminada por una finca de la localidad, tomando como tamaño medio el de las explotaciones agrarias en España, 20,3 ha según Fernández Ruiz en 2007. Y tomando la media de las contaminaciones encontradas en la localidad (Tabla 9).

Tabla 9. Concentraciones de nitrato previstas para las aguas subterráneas en la L'Eliana

<b>CONCENTRACIÓN ESPERADA DE NO<sub>3</sub>- EN L'ELIANA</b>							
Pozo	Pozo						<b>Media</b>
	San Salvador	Las Tablas	Montepilar	San Vicente	Caballeros I	Caballeros II	
NO <sub>3</sub> - (ppm)	106	81	106	106	86	86	<b>95,17</b>

Fuente: (AcuaMed, 2007)

El volumen de agua afectada, será calculado como en el anterior caso, con la equivalencia de saber cuántos metros cúbicos son requeridos para que en ellos, a las concentraciones que se perciben en el acuífero, se alcance a remediar 40 kilogramos de nitrógeno que es lo que se contamina en un año.

Por lo que, las variables de entrada quedarían como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Variables para el caso práctico de la contaminación en L'Eliana

<b>CASO PRÁCTICO ACUIFERO L'ELIANA</b>			
Variables	Valor	Unidades	Detalles
t	1	Años	Se estima la actuación de restauración en tiempo inmediato, como lo haría una desnitrificadora
S	20,3	Ha	Tamaño medio de las explotaciones agrarias en España (Fernández Ruiz, 2007)
C	95,17	mg/L	Concentraciones de nitrato media en pozos de L'Eliana (Tabla 9)
A	1	Años	Equivalente a la contaminación incurrida durante un año
V	8532	m <sup>3</sup>	Para la concentración dada, se requieren estos m <sup>3</sup> para remediar 40 Kg/ha

Así, reemplazando en la Ecuación 2:

$$\text{Costo2} \left( \frac{\text{€}}{\text{Ha}} \right) = (|-5,35 \cdot 10^{-1} + 1,09 \cdot 10^{-4} * 95,17^2 - 1,35 \cdot 10^{-6} * 1 * 95,17^2| * 1 * 8532) / 20,3$$
$$\text{Costo2} \left( \frac{\text{€}}{\text{Ha}} \right) = 185$$

El resultado obtenido es concordante con los parámetros encontrados en la literatura en donde para concentraciones de entre 50 y 250, y tiempos de remediación de entre 1 y 10 años, el coste se encuentre entre 143 y 591 €/Ha. Lo que nos expresa entonces este valor es, el costo de remediar a corto plazo una hectárea sobrefertilizada que contamina un acuífero durante un año.

Este valor encontrado viene siendo una externalidad negativa de realizar actividades agrícolas en el terrero, lo cual debería ser cobrado e invertido en la prevención de dicha contaminación, evitando así a largo plazo daños más severos, costosos e incluso, irreversibles.

## DISCUSIÓN

Reino Unido requiere anualmente en desnitrificación de sus aguas para consumo humana aproximadamente 30 millones de euros, y se prevé que en las dos próximas décadas alcance un valor 10 veces superior (Fernández Ruiz, 2007), es por esto que, pese a que existen tratamientos de remediación del agua que pueden ser más económicos si se realizan con más tiempo de actuación, es más íntegro optar por prevenir la contaminación con técnicas como la de Modernización y Automatización de regadíos, para evitar tener que tratar, diluir o cambiar de fuente, que incluso esta última no es una alternativa cuando no se cuenta con más captaciones de agua, principalmente para bebida.

La contaminación idealmente debería ser medida por su coste de prevención y no netamente de reemplazo, porque no se debería llegar a ello en ningún escenario; según (Pacheco Ávila, Pat Canul, & Cabrera Sansores, 2002) la única opción para evitar futuras contaminaciones por nitratos en acuíferos someros susceptibles, es iniciar con el control del uso del suelo, lo cual contribuye con la mejora de las masas

de agua subterránea, pero una práctica restrictiva fomenta el desacato y no la opción de involucrar y generar conciencia a los implicados, como la implementación de buenas prácticas agrícolas por convicción, el conocimiento de los estados fenológicos de la planta y la prevención de los retornos de riego.

La valoración monetaria sabiéndose apoyar de herramientas de software más modernos basada en modelos biofísicos, es utilizada en el caso del trabajo desarrollado por La Noche en 2012, consolidando una valorización que parte de parámetros valiosos que involucran la física y la biología de los ecosistemas. Dichas inclinaciones son de gran ayuda, sin embargo, no hay que dejar de lado una herramienta que sigue con total vigencia la cual es el modelo de regresión lineal, con el cual se logra realizar predicciones bastante acertadas y que son de acceso para investigadores que no cuentan con el presupuesto para la utilización de softwares más complejos y costosos.

Existen normativas que rigen y tratan de mitigar el problema de los nitratos para que los fertilizantes sean utilizados de manera racional como lo es la Directiva 91/676 relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. Según Fernández Ruiz, en 2002, *“La aplicación de la Directiva en España ha presentado y sigue presentando notables problemas tanto de tipo jurídico como técnico, por lo cual queda mucho por hacer no solo para cumplir con las obligaciones que impone la norma comunitaria, si no para conseguir difundir, entre los distintos sectores implicados la necesidad de protección y recuperación de las aguas subterráneas”*. Reforzar la vigilancia y concientizar a los productores de que las buenas prácticas de fertilización y uso de los recursos no deben ser percibida como un intento de limitar el desarrollo por parte del estado y sus veedores, sino como una contribución a la calidad de vida, tanto de ellos como de su descendencia, es posible como ya lo ha demostrado Dinamarca, frenando el proceso de contaminación en sus acuíferos mediante un plan nacional de uso eficiente de fertilizantes, siendo un caso exitoso replicable del que se debería aprender.



Los errores detectados en el análisis financiero del informe de viabilidad del proyecto de la desnitrificadora de L'Elia, invitan a prestar estricta atención a toda la valorización de informes de viabilidad para no aprobar proyectos que no muestran la realidad, y que incluso, pueden llegar a ser inviables por el hecho de haber ocultado o equivocado las verdaderas cifras.

## CONCLUSIONES

Es normal que los nitratos estén presentes en los acuíferos, ya sea por la disolución de rocas que los contengan y, en otras ocasiones, por la oxidación bacteriana de materia orgánica. Su concentración normal entonces, en aguas subterráneas no contaminadas, no suele ser mayor a 10 Mg/l (Porrás Martín, Nieto López-Guerrero, Álvarez-Fernández, Fernández Uría, & Gimeno, 1985), lo cual no sobrepasa la concentración máxima permitida en aguas para consumo. El problema actual de la contaminación de estos es debido a la expansión del desarrollo agrario, aunque resulta indiscutible el enorme beneficio económico y social que ha traído consigo el aumento de la producción que va de la mano de la agricultura intensiva, basada en el uso de fertilizantes sintéticos de alto rendimiento cargados principalmente de nitrógeno. Es requerido abrir urgentemente los ojos y las mentes a los productores y comunidad en general, de armonizar el progreso con la preservación del medio ambiente. Esta problemática es compartida por todos los estados miembros de la Unión Europea, lo cual hace más factible que se unan fuerzas para encontrar soluciones colectivas y replicar los casos exitosos, ya que, finalmente, y lo confirma La Notte en 2014, *“La retención de nitrógeno beneficia a los humanos y a la biodiversidad”*.

Las actuaciones propuestas en el presente trabajo, contribuyen directamente a la mejora del estado ecológico de las masas de agua subterráneas. Su valoración alimenta el proceso de toma de decisiones sobre concesiones de agua, proyectos a ejecutar y la conciencia para preservar un recurso tan indispensable y vital como lo es el agua. Trata de mitigar las externalidades negativas que se producen en una explotación agrícola, las cuales deben ser compensadas o evitadas para no repercutir en daños posteriores de valor elevado de remediación e incluso irreversibles,

disminuyendo la pérdida de bienestar para los seres vivos que tienen relación directa con el recurso.

Una futura mejora para el modelo planteado es la utilización de casos reales con concentraciones de nitratos obtenidas en los acuíferos españoles, en donde se realice una base de datos que vaya siendo paulatinamente actualizada. Poseer el costo de las actuaciones hacia las aguas subterráneas en todo momento, despierta la alerta de ser cuidadosos y comenzar con las mitigaciones cuanto antes para que no se llegue a extremos, como lo es el triste caso del Mar Menor, ya mencionado.

## BIBLIOGRAFÍA

AcuaMed. (2007). *Informe de viabilidad de la actuación 3.2.n refuerzo del sistema de abastecimiento del área metropolitana de Valencia y el camp de Morvedre. planta desnitrificadora de L'Eliaana (Valencia)*. Recuperado el Abril de 2020

Amat Rodrigo, J. (Julio de 2016). *Introducción a la Regresión Lineal Múltiple*. Recuperado el Mayo de 2020, de RPubs by RStudio: [https://rpubs.com/Joaquin\\_AR/226291](https://rpubs.com/Joaquin_AR/226291)

Andreu Rodes, J. M., & Fernández Mejuto, M. (2019). Las aguas subterráneas en España: Hacia la sostenibilidad del recurso. (J. Melgarejo Moreno, Ed.) *Congreso Nacional del Agua 2019: innovación y sostenibilidad*. Obtenido de [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88476/1/Congreso\\_Nacional\\_Agua\\_2019\\_1229-1254.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88476/1/Congreso_Nacional_Agua_2019_1229-1254.pdf)

Banco de la República, .. (s.f.). *Índice de precios al consumidor (IPC)*. Recuperado el Mayo de 2020, de Banco de la República de Colombia: <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/indice-precios-consumidor-ipc>

Ben Sik Ali, M., Mnif, A., Hamrouni, B., & Dhahbi, M. (1 de Junio de 2010). Denitrification of brackish water by electro dialysis: Effect of process parameters and water characteristics. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 46, 253-262. doi:10.3103/S1068375510030117

- Castillo Gutiérrez, S., & Lozano Aguilera, E. D. (2007). Q-Q Plot Normal. Los puntos de posición gráfica. *Iniciación a la Investigación. Revista Electrónica Universidad de Jaen*.
- Cuttle, S., Chadwick, D., Chambers, B., Haygarth, P., Harris, D., Humphrey, R., . . . Shepherd, M. (2007). *An inventory of methods to control Diffuse Water Pollution from Agriculture (DWPA), user manual prepared as part of Defra Project ES0203*. Recuperado el Abril de 2020, de [http://www.cost869.alterra.nl/Fs/List\\_of\\_options.htm](http://www.cost869.alterra.nl/Fs/List_of_options.htm)
- Del Villar, A., & Gómez, C. M. (2019). *Estudio Económico sobre: El análisis de soluciones para el objetivo del vertido cero al Mar Menor proveniente del Campo de Cartagena*. Grupo de Economía Ambiental de la Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares. Recuperado el Abril de 2020
- Dixon, J., & Stefano, P. (1998). *Análisis económico y evaluación ambiental*. Banco Mundial.
- Emery, D. R., Finnerty, J. D., & Stowe, J. D. (2000). *Fundamentos de administración financiera*. Pearson Publications Company. Recuperado el Mayo de 2020
- EMIMET. (s.f.). *Desalinización Electrodialisis Reversible (EDR)*. Recuperado el Mayo de 2020, de Empresa Mixta Metropolitana Aguas de Valencia: [https://www.emimet.es/portal/export/sites/default/Tecnologia/\\_config\\_/recursos Tecnologia/Desalinizacion.pdf](https://www.emimet.es/portal/export/sites/default/Tecnologia/_config_/recursos/Tecnologia/Desalinizacion.pdf)
- España. (2003 de Febrero de 21). Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Boletín Oficial del Eestado. núm. 45.
- EUROSTAT. (Abril de 2018). *Agri-environmental indicator - gross nitrogen balance*. Recuperado el Mayo de 2020, de Statistics Explained: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental\\_indicator\\_-\\_gross\\_nitrogen\\_balance#Nitrogen\\_use\\_efficiency](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental_indicator_-_gross_nitrogen_balance#Nitrogen_use_efficiency)

Fernández Ruiz, L. (2002). *Contaminación de origen agrario. El problema de los nitratos*. Obtenido de IGME. Presente y futuro de las aguas subterráneas en la provincia de Jaén: [http://aguas.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros3\\_RHS/Libro108/pdf/lib108/in\\_n7b.pdf](http://aguas.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros3_RHS/Libro108/pdf/lib108/in_n7b.pdf)

Fernández Ruiz, L. (2007). Los nitratos y las aguas subterráneas en España. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (15.3), 257-265. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/39078324.pdf>

Fernández Ruiz, L., López Geta, J. A., Navarrete Martínez, P., & Sánchez Guzmán, J. (1989). Lucha contra la contaminación: contaminación de las aguas subterráneas. La problemática de los nitratos y su incidencia en España. ISBN 84-7840-007-9. Obtenido de [http://aguas.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros4\\_CCA/lib114/Lib\\_114.htm](http://aguas.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros4_CCA/lib114/Lib_114.htm)

García, I. M., Rodríguez, J. R., Rodríguez, J. J., Suárez, B. P., Bocardo, J. R., & Martín, N. S. (2016). *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Mejora de la calidad de los efluentes*. España.

Gren, M. (1994). *The value of investing in wetlands for nitrogen abatement*. Stockholm: The Beijer International Institute of Ecological Economics.

Instituto Nacional de Estadística. (s.f.). *¿Cuánto ha variado el IPC desde...?* Recuperado el Mayo de 2020, de INE: <https://www.ine.es/varipc/verVariaciones.do;jsessionid=26C9C3EB3FBDE24801450B60FC00D28F.varipc02?idmesini=10&anyoini=2013&idmesfin=12&anyofin=2007&ntipo=1&enviar=Calcular>

La Notte, A., Liqueste, C., Grizzetti, B., Maes, J., Egoh, B. N., & Paracchini, M. L. (2014). An ecological-economic approach to the valuation of ecosystem services to support biodiversity policy. A case study for nitrogen retention by Mediterranean

rivers and lakes. *Ecological Indicators*, 48, 292-302.  
doi:10.1016/j.ecolind.2014.08.006

La Notte, A., Maes, J., Grizzetti, B., Bouraoui, F., & Zulian, G. (15 de Febrero de 2012). Spatially explicit monetary valuation of water purification services in the Mediterranean bio-geographical region. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8:1-2, 26-34.  
doi:10.1080/21513732.2011.645557

MITECO. (20 de Octubre de 2016 (2)). *Zonas vulnerables a contaminación por nitratos (Informe cuatrienio 2012-2015. Dir 91/676/CEE)*. Recuperado el Mayo de 2020, de Catálogo de Metadatos: <https://www.miteco.gob.es/ide/metadatos/srv/spa/metadata.show?uuid=9d6e67b4-7d9c-468f-9a58-aa94e55f3cbb>

MITECO. (2016). *Análisis de soluciones para el objetivo del vertido cero al Mar Menor proveniente del Campo de Cartagena*. Evaluación de Impacto Ambiental, Ministerio para la Transición Ecológica.

Pacheco Ávila, J., Pat Canul, R., & Cabrera Sansores, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería Revista Académica Universidad Autónoma de Yucatán*, 6(3), 73-81. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/467/46760308.pdf>

Porras Martín, J., Nieto López-Guerrero, P., Alvarez-Fernández, C., Fernández Uría, A., & Gimeno, M. V. (1985). *Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España*. IGME, Madrid. Obtenido de [http://aguas.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros4\\_CCA/libro43/lib43.htm](http://aguas.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros4_CCA/libro43/lib43.htm)

Rodríguez Silva, J. L. (2019). ¿Qué puede hacer el software R para resolver tus problemas? *Revista Digital Universitario (RDU)*, Vol. 20(núm. 3 mayo-junio).

Recuperado el Mayo de 2020, de <https://www.revista.unam.mx/2019v20n3/que-puede-hacer-el-software-r-para-resolver-tus-problemas/>

Sánchez, E. (20 de Octubre de 2019). La asfixia del mar Menor. *El País*. Recuperado el Mayo de 2020, de [https://elpais.com/sociedad/2019/10/18/actualidad/1571415252\\_866797.html](https://elpais.com/sociedad/2019/10/18/actualidad/1571415252_866797.html)

Soto, E. M. (2010). *Contabilidad ambiental, crítica al modelo de contabilidad financiera*. Armenia, Quindío, Colombia.

Unión Europea, .. (31 de Diciembre de 1991). Directiva 91/676 del consejo de 12 de diciembre de 1991 relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. L 375/1, 1-8. Diario Oficial de las Comunidades Europeas.