



Universidad de Jaén

Escuela de Doctorado

TESIS DOCTORAL



**WASTEWATER ECOTAXES AND REUSE
IN SPAIN**

**PRESENTADA POR:
LETICIA GALLEGO VALERO**

**DIRIGIDA POR:
ENCARNACIÓN MORAL PAJARES
ISABEL MARÍA ROMÁN SÁNCHEZ**

JAÉN, 7 de Junio de 2019

AGRADECIMIENTOS

A mis directoras de Tesis, Encarnación Moral Pajares e Isabel María Román Sánchez, por haberme dado la oportunidad de adentrarme en el mundo de la investigación, en un tema tan interesante y necesario como es la economía del agua residual. Ellas creyeron en mí desde el principio, guiándome por este, a veces, arduo camino, habiendo sabido reconocer debilidades y crear fortalezas para mejorar día tras día, compartiendo conmigo todas las preocupaciones y alegrías. El trayecto ha sido, gracias a ellas, mucho más ameno y fructífero, habiéndome concedido todo tipo de facilidades y haciéndome ver siempre el lado positivo de cualquier obstáculo. Sin Encarnación y sin Isabel, las metas alcanzadas nunca habrían sido posibles.

A José Antonio Sánchez y a todo el equipo de CIESOL-Universidad de Almería, por haberme acogido como un miembro más y haberme hecho partícipe de actividades y enseñanzas, tan necesarias en este campo multidisciplinar para dar luz a todas las investigaciones que han sido realizadas.

Al departamento de Economía de la Universidad de Jaén, por haberme integrado tan bien, prestándose a resolver cada problema que me ha surgido. En especial, a Juan Manuel Matés, que ha sido partícipe activo con múltiples ayudas durante la elaboración de esta Tesis Doctoral, a Francisca Jiménez y a Inmaculada Martínez, que me han solventado múltiples dudas de carácter estadístico, y a Francisca Jordán, siempre tan atenta y diligente con todas las cuestiones administrativas.

A mi familia, en especial a mi padre, Gregorio, por la intensa dedicación que nos ha dispensado, tanto a mi hermana como a mí, a lo largo de nuestra vida, ya que sin su apoyo y tesón seguramente nunca hubiera llegado a ser quien soy; gran parte de mis logros son también los suyos. A mi madre, Mathilde, que siempre creyó en mí, sin dudar en que conseguiría todo lo que me propusiera, y que desde niña me miró como si fuera invencible. A mis amigos, en especial a Eloísa, con quienes he compartido momentos de angustia, estrés, emoción y alegría y que me han transmitido ánimos y fortaleza. A mis compañeros de la Universidad de Jaén y Almería, en especial a Ana Licerán, que han ido realizando aportaciones cargadas de significado, y con los que he compartido inquietudes, desvelos y preocupaciones, unidos ante la adversidad.

INDEX

CHAPTER 1.....	6
Introduction.....	6
1.1. Motivation of research	7
1.2. Taxes on wastewater discharges in the European Union: the case of Spain.....	11
1.2.1. Justification and purpose of taxes.....	11
1.2.2. Lack of homogeneity in European Union countries	12
1.2.3. The case of Spain.....	14
1.3. Objective and hypotheses.....	17
1.4. Materials and methods.....	19
1.5. Contribution of the articles.....	22
1.5.1. List of publications.....	22
1.5.2. The tax burden on wastewater and the protection of water ecosystems in EU countries.....	23
1.5.3. Analysis of environmental taxes to finance wastewater treatment in Spain: an opportunity for regeneration?.....	24
1.5.4. Crop production and irrigation: deciding factors of wastewater reuse in Spain?.....	25
1.5.5. Other publications related to the Doctoral Thesis.....	26
1.5.5.1. Articles, books and book chapters	26
1.5.5.2. Congresses.....	27
References	29
CHAPTER 2: Paper 1	35

Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I. M. The tax burden on wastewater and the protection of water ecosystems in EU countries. <i>Sustainability</i> 2018, 10(1), 212.	35
CHAPTER 3: Paper 2	36
Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I. M.; Sánchez-Pérez, J.A. Analysis of environmental taxes to finance wastewater treatment in Spain: an opportunity for regeneration? <i>Water</i> 2018, 10(2), 226.	36
CHAPTER 4: Paper 3	37
Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I. M. Crop production and irrigation: deciding factors of wastewater reuse in Spain? <i>Desalination and Water Treatment</i> 2019.....	37
CHAPTER 5.....	38
Conclusions	38
5.1. Final considerations.....	39
5.2. Directions for future research	46
RESUMEN DE LA TESIS DOCTORAL EN ESPAÑOL	48
Appendix A.....	49
Introducción.....	49
1.1. Motivación de la investigación	50
1.2. Tributos sobre vertidos de aguas residuales en la Unión Europea: el caso de España	55
1.2.1. Justificación y finalidad de los tributos.....	55
1.2.2. Problemáticas de uniformidad en los países de la Unión Europea.....	56
1.2.3. El caso de España	58

1.3. Objetivo e hipótesis	62
1.4. Materiales y métodos	64
1.5. Contribución de los artículos	67
1.5.1. Relación de publicaciones	67
1.5.2. The tax burden on wastewater and the protection of water ecosystems in EU countries.	68
1.5.3. Analysis of environmental taxes to finance wastewater treatment in Spain: an opportunity for regeneration?	69
1.5.4. Crop production and irrigation: deciding factors of wastewater reuse in Spain?.....	70
1.5.5. Otras publicaciones relacionadas con la tesis	71
1.5.5.1. Artículos, libros y capítulos de libro	71
1.5.5.2. Congresos	72
Referencias	75
Appendix b	81
Conclusiones	81
5.1. Consideraciones finales	82
5.2. Direcciones para investigaciones futuras	89
ANNEXES	91
Annex 1 – Chapter 2	92
Annex 2 - Chapter 4.....	102

CHAPTER 1

INTRODUCTION

1.1. Motivation of research

Given the importance of water for human development, the environment and the economy, the UN considers access to water and sanitation as a basic human right. Thus, in 2015, the UN General Assembly addressed people's right to *"a sanitation that is safe, hygienic, secure, socially and culturally acceptable that provides privacy and ensures dignity"*. Indeed, ensuring access to clean water and sanitation was set as one of the 17 global objectives of the new Agenda for Sustainable Development 2030, approved on 25 September 2015. Specifically, goal 6.3 of the aforementioned Agenda is *"to improve water quality by reducing pollution, eliminating dumping and minimizing release of hazardous chemicals and materials, halving the proportion of untreated wastewater and a substantially increasing recycling and safe reuse globally"*. The adequate management of this resource is also included in objective 15 (Action on Climate, Efficiency, Resources and Raw Materials) of the *Estrategia Española de Ciencia y Tecnología de la Innovación 2020*, and coincides with the European Union policy for ensuring the sustainability of European waters, specified in Directive 91/271/EEC and, subsequently, covered by the Water Framework Directive 2000/60/EC (WFD). Along the same lines, the OECD's Environmental Outlook for 2050 deals with the need to protect water resources.

Water pollution occurs when humans' use of water alters its properties, rendering it unusable for subsequent use. According to the UN World Water Development Report 2017, wastewater can refer to a combination of one or more of the following: domestic effluent consisting of blackwater (excreta, urine and faecal sludge) and greywater (wastewater from washing and bathing); water from commercial establishments and institutions, including hospitals; industrial effluents, stormwater and other urban runoff; and agricultural, horticultural and aquatic runoff [1]. There are three types of consequences of untreated or inadequately treated wastewater:

- a) effects that are harmful to human health, such as an increased burden of disease due to lower quality drinking water and bathing water, and unsafe foods

that have been contaminated by contact with the waste, as well as growing antibiotic resistance;

b) negative environmental effects, such as reduced biodiversity, degraded aquatic ecosystems, unpleasant odours and rising water temperatures, among others; and

c) adverse repercussions for economic activities, reduced agricultural and industrial productivity, reduced market value of harvested crops, limited opportunities for water-based recreational activities, which impacts the tourism sector, reduced catches of fish and shellfish whether in terms of quantity or their market value and increased barriers to international trade, etc. [2, 3].

One of the fundamental objectives of the European Union's environmental policy is to conserve, protect and improve water quality, as well as to ensure the careful and rational use of natural resources (Article 130R of the Treaty of the European Union). Attempts to improve the quality of this resource should be aimed at obtaining a greater volume of reclaimed water, which can be reused, thus contributing to an increased water supply [4-7].

The European Union legislation dates back to 1991, with Directive 91/271/EEC, which regulates the treatment of urban wastewater and establishes the necessary measures to be adopted by the Member States to ensure adequate treatment is applied before wastewater is returned to water bodies. In Spain, the transposition of this Directive into national law was carried out through Royal Decree-Law 11/1995, which establishes the regulations applicable to the treatment of urban wastewater. In 2000, the WFD set out a European framework for action in the field of water policy, with the purpose of guaranteeing the good ecological and chemical status of water resources, in order to protect human health, water supply, natural ecosystems and biodiversity. The transposition of this Directive into Spanish law was effected through Law 62/2003, of 30 December on fiscal, administrative and social order measures. Article 129 of that law includes the modification of the revised text of the Water Law, approved by Royal Legislative Decree 1/2001, of 20 July [8]. WFD has supposed a great boost to European

water management practices and policies, placing a particular emphasis on environmental aspects, and establishing common legislation and a framework for Community action to stop the deterioration of water bodies in European countries and achieve the “*good status*” of their rivers, lakes and groundwater by 2015. Specifically, it aimed at reducing pollution levels, protecting surface water, groundwater, inland water and transitional waters, and regenerating ecosystems, under the polluter-pays principle, set out in Article 9 of the WFD.

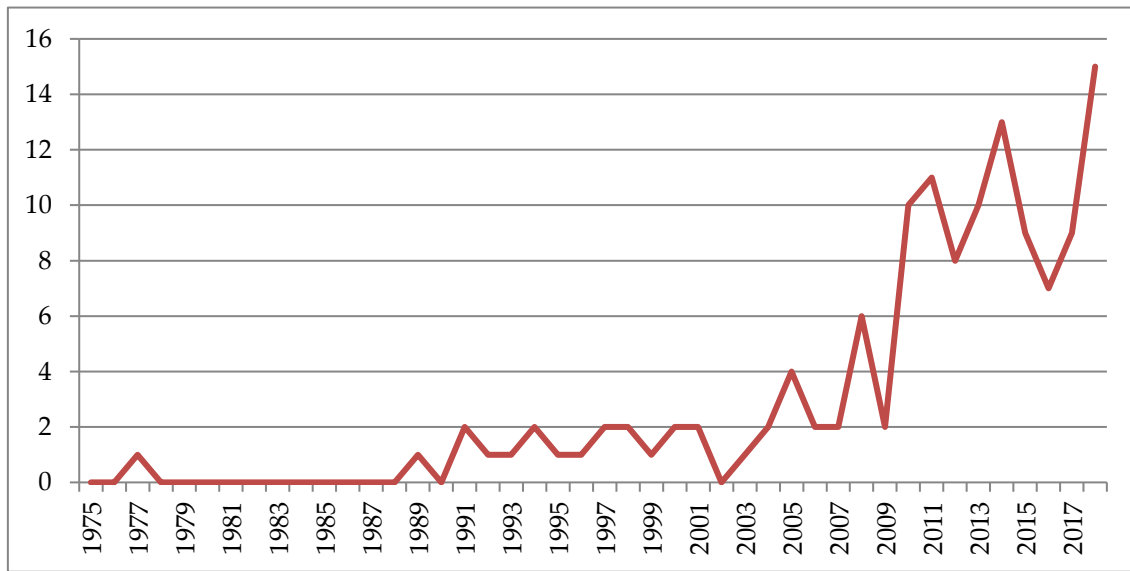
Directive 91/271/EEC and the WFD require the establishment of effective treatment models and sanitation networks in Member States, with effluents sent to wastewater treatment plants (WWTPs) before being discharged or reused. They also establish that Member States should take into account the principle of cost recovery in water-related services [9, 10]. The entry into force of these regulations prompted the different Member States of the European Union to enact national legislation on the matter, representing a step forward in terms of wastewater management, water protection policies and tackling pollution in each Member State [11]. It also led to an increase in the volume of treated wastewater and the development of the required treatment technology [12].

The cost recovery principle established by the European legislation justifies the creation and implementation of ecological taxes linked to wastewater in the different Member States. The purpose of such taxes is to influence the behaviour of polluters and to provide the relevant authorities with enough resources to pay for actions aimed at reducing the level of contamination of the discharged wastewater, as well as investing in the technology required for sanitation and treatment.

The scientific community’s interest in analysing taxes related to wastewater is reflected in the expansion of the theoretical and applied literature on the subject over the last decade. Figure 1 presents a bibliometric study of articles published from 1975 to 2018, using the Web of Science [13] as the main database. The search for “*wastewater taxes*” allows to identify only 130 results, clearly showing that this field of research is yet to be fully explored. The number of related publications has increased since 2010, with most

of the research coming from the United States, China and Spain. Most of these articles are published in pioneering journals, such as *Water Science and Technology*, *Desalination*, *Journal of Cleaner Production*, and *Water*.

Figure 1. Evolution of the number of articles on "wastewater taxes" published in scientific journals between 1975 and 2018, indexed in Web of Science.



Source: [13]. Own elaboration.

After setting out some facts and trends justifying the use of taxes as an economic instrument for protecting the natural water environment and preventing the discharge of untreated wastewater, this study focuses on analysing whether the principle of cost recovery is met in Spain, as stipulated in the European Union regulations on wastewater treatment. To that end, the rest of this introduction is structured in four Sections. In Section 2, the taxes on wastewater discharges in European Union countries are presented, with a particular focus on the case of Spain. In Section 3, the initial hypothesis and the specific research objectives are outlined. Section 4 details the materials and methods, and sources of information. Finally, the last Section sets out the main contributions of the articles that make up this Thesis, presenting other publications related. Chapters 2, 3 and 4 of this Doctoral Thesis show the publications that comprise it. Chapter 5 includes the main results of the research and the future lines of analysis.

1.2. Taxes on wastewater discharges in the European Union: the case of Spain

1.2.1. Justification and purpose of taxes

Environmental taxes are set in order to correct the distortions generated in price systems due to negative externalities [14]. The deterioration of the natural resources that are necessary for life justifies public intervention [15] to guarantee general well-being. The aim of taxing pollution is to transfer responsibility to the polluters, who must compensate for the damage they cause [16, 17]. Governments actions to control pollution may take the form of command-and-control instruments [18] and/or taxes and discharge permits. Command-and-control regulations require the regulator to establish a legal limit on the amount of pollution permitted to each polluter, in order to achieve certain quality objectives for the water belonging to the public water resources. The purpose of the taxes is to correct market failures, influencing the behaviour of the polluting agent, who must pay for the environmental costs. Environmental taxation has important advantages over other forms of intervention [19].

Public revenues linked to water come mainly from rates and taxes in European Union countries [20]. Rates are paid in return for the private use of public resources, or to cover the provision of a service by the Public Administration, which citizens use for their own benefit; and the revenue collected from such rates can only be used to finance this service. Environmental taxes, such as the Spanish discharge control fee, regulated by the Water Law, are paid without receiving anything directly in return; rather, they are established to correct a negative externality, regardless of whether or not revenue from these taxes is intended to subsequently fund specific improvements in the natural environment [21]. Setting a tax on water can help achieve three objectives: reduce the consumption of this natural resource and, simultaneously, the emission of wastewater; regulate the disposal of effluents, influencing the behaviour of polluters; and contribute to financing the investment and operational costs of treatment infrastructure.

1.2.2. Lack of homogeneity in European Union countries

In the European Union, there is no uniformity of criteria in the definition of "*environmental taxes*". This problem is linked to the diversity of management policies developed by the Member States in the area of water taxation, making it difficult to identify and compare the different taxes. They have also been in effect for different lengths of time, having been established in 1970 by France and the Netherlands, by Germany in 1981 and by Denmark in 1997. Other States, such as Belgium, Italy or Spain, introduced them later [22].

The lack of homogeneity in tax instruments linked to water indicates different levels of responsibility between countries, and also within countries, among bodies with differing jurisdictions. Overall, the following types of charges on water resources have been established in the European Union: those that tax extraction, those levied on use, wastewater and sewerage services; and those related to the pollution produced by the use of water. Table 1 presents a summary of those charges in European Union countries. Of all the charges, those applied to wastewater discharge are classic emissions taxes and one of the first economic instruments introduced into policy to protect the environment [23].

Table 1. Rates and ecotaxes levied on water in the European Union.

Country	Extraction	Use and Discharge	Pollution
Austria		X	
Belgium	X	X	X
Bulgaria		X	X
Czech Republic	X	X	X
Croatia	X	X	X
Cyprus			
Denmark		X	X
Finland		X	X
Germany	X	X	X
Greece		X	
Estonia	X	X	X
France	X	X	X
Hungary	X	X	X
Ireland			
Italy		X	X
Latvia	X	X	X
Lithuania	X	X	X
Luxemburg	X	X	
Malta		X	
The Netherlands		X	X
Poland	X	X	X
Portugal		X	X
Romania	X	X	X
Slovak Republic		X	X
Slovenia	X	X	X
Spain	X	X	X
Sweden		X	X
United Kingdom		X	X

Source: [24].

The information in Table 1 clearly shows the different taxes on water in the countries of the European Union. In most cases, the tax burdens are levied on the three facets represented: extraction, use and discharge, and pollution. However, notable exceptions are countries such as Cyprus and Ireland, which do not apply any taxes. Austria, Greece, Luxembourg, Malta and Portugal have no specific tax instrument levied on pollution, although in all these countries there are specific taxes on the use and discharge of wastewater.

1.2.3. The case of Spain

The objective of the revised text of the Water Law is to regulate the public water resources, the use of water and the exercise of the powers attributed to the State in related matters. Article 111.bis establishes the general principles that the relevant public administrations must take into account, in accordance with the cost recovery principle and the valuation of long-term economic projections. In this regard, they must set out the appropriate mechanisms to pass on the costs of the services related to water management, including those of an environmental nature to the different end users. By so doing, they can encourage an adequate use of water and achieve the desired environmental objectives. In order to apply this principle, the social, environmental and economic consequences, as well as the geographical and climatic conditions of each territory must be considered.

Proper compliance with this article implies the use of different tax charges. These are connected directly or indirectly to the financing of the expenses related to the operation, maintenance and management of wastewater treatment facilities, as well as those related to the investment in water infrastructure, whether it be for the extraction and distribution of water, or for treating it to the standard required to be returned to water bodies [23].

At the national level, the taxes linked to wastewater discharge are the following:

- a) Sewage rates

The sewage service comes under municipal jurisdiction, in accordance with Law 8/1989, of 13 April, on Public Prices and Fees, and with Local Government Regulatory Law. These rates have as a taxable event the provision of this service and, where appropriate, the treatment and purification of wastewater, if there are no charges directly related to the treatment and purification of discharged wastewater. The taxable entities in this case are natural or legal persons, property or residents' associations, and other entities referred to in Article 33 of the General Tax Law, who (a) request the service and/or (b) benefit from it or are affected by it.

b) Discharge control fee

This fee is levied on discharges into the public water resources, for the control, protection and improvement of the receiving environment of each river basin. It is regulated in Article 113 of the Water Law, with the taxable entities being natural or legal persons responsible for the discharge, whether they are authorized permit holders or acting on behalf of those who are not authorized. This tax is independent of the sanitation fees established in regional regulations and the sewerage rates approved by local authorities. In the case of inter-community basins, this tax is collected by the river basin authority or by the State Tax Administration, pursuant to an agreement with that entity. Also pursuant to an arrangement, the Autonomous Communities may collect this tax within their own territories.

c) Charges for sanitation, improvement, and wastewater treatment, and sanitation fees

There are different denominations to refer to a charge that falls within the jurisdiction of the Autonomous Communities, the purpose of which is to encourage the rational use of water and to tax the discharge of wastewater [25]. This is the most widespread environmental tax at the regional level, as it is in force in all the Autonomous Communities, except Castile and Leon. The purpose of this tax is twofold. On the one hand, it regulates the discharge of wastewater in order to tackle the damage produced by pollutants released into the environment and, on the other hand, it finances the

investment and operational costs of the infrastructure required for wastewater treatment [26].

The administrative management of these charges is usually carried out by the regional bodies, responsible for the sanitation policy in each Autonomous Community. In all cases, the taxable event is any potential or actual consumption of water from all sources, due to the contamination that may result from its direct discharge or discharge through sewage networks. For this reason, the taxable event is not the wastewater discharged, but rather the availability and urban use of potable water supplied by public or private supply networks; a direct relationship between consumption and wastewater discharge is thus assumed. In accordance with the above, it is the companies or entities (public or private) that supply the water resources that are obliged to invoice and remit the resulting revenue, acting as substitutes for the taxpayer, and thus facilitating the management carried out by the competent bodies in each Autonomous Community.

When setting the charge to be paid by the user, all the Autonomous Communities differentiate between domestic and industrial uses, and normally include a fixed or connection charge and a variable or consumption-based rate. In the case of domestic use the variable tax rate is calculated by multiplying the volume of water consumed or estimated, in cubic metres, by the price per cubic metre established in the Law regulating each tax. In the case of industrial use, the charge is usually calculated based on the pollutant load of the discharge into the receiving water source.

d) Autonomous Community taxes on discharges into the sea

Four Autonomous Communities (Andalusia, Murcia, the Basque Country and the Valencian Community) have established fees or taxes on discharges into the sea [27]. These are regulated by Coastal Law 22/88 which establishes the basic rules for the operation of discharge authorizations. The purpose of these taxes is to tax the pollutant load of the authorized coastal discharges, being targeted at offsetting the investment costs in the regional administration's actions to guarantee the good chemical and ecological status of coastal waters. The taxable base depends on the pollutant load of the discharge, taking into account the suspended matter and the chemical oxygen demand.

1.3. Objective and hypotheses

The starting assumptions for the research are the following:

- a) Compliance with Directive 91/271/EEC and Directive 2000/60/EC, which require the treatment of wastewater in urban centres and establish the principle of cost recovery.
- b) The different taxes in Spain related to the discharge of wastewater, levied by basin organizations, as well as regional and local authorities.

Considering the previous premises, the hypothesis to be tested is the following:

H1. In Spain, the revenues from taxes linked to urban wastewater discharge finance the costs of the depuration service, thereby complying with the polluter-pays principle, and contributes to financing wastewater reuse.

The instrumental hypotheses derived from our main hypothesis are the following:

H1.1. Spain's tax burden on wastewater is similar to that of other European Union countries.

H1.2. The taxes charged on wastewater in the Spanish regions allow for the financing of treatment costs.

H1.1.3. Tax revenues linked to urban wastewater conditions wastewater reuse.

The logical sequence of the topics to be discussed would be as follows:

1. Study of the tax burden on wastewater discharge in European Union countries:
 - a) Analysis of the situation in European Union countries.
 - b) Factors that determine the tax burden on wastewater.

2. Analysis of the public revenues collected in the different Spanish regions targeted at financing the wastewater treatment service:

- a) Study of the situation in different Spanish regions.
- b) Recovery of wastewater treatment costs in the regions.

3. Wastewater reuse in Spain:

- a) Study of the situation in the Spanish regions.
- b) Analysis of whether tax revenues linked to wastewater contribute to financing wastewater reuse.

This Doctoral Thesis aims to conduct a comparative study of the tax burden on wastewater in Spain relative to other European countries. It also seeks to analyse the level of compliance with the cost recovery principle for wastewater treatment, and explore the possibilities for promoting the reuse of wastewater. Above all, the aim of this Thesis is to draw conclusions that contribute to the scarce scientific literature that exists on this subject, particularly in Spain. It also seeks to provide valid arguments that help guide the actions of national, regional and local institutions towards protecting the water environment.

1.4. Materials and methods

In order to achieve the above-mentioned objectives, secondary data has been used, published by international and national institutions. The data on tax revenues in European Union countries come from the OECD. The tax burden on wastewater discharges is estimated by the taxes collected and is defined as the relationship between the tax burden imposed and the tax base that generates it [28]. This variable includes the revenues generated through ecotaxes, not the revenues collected from rates paid for the provision of extraction, supply, sanitation and treatment services. Also from the OECD are the statistical data related to the variable expenditure on protection of water resources, defined as the per capita expenditure on the environment in dollars, adjusted for purchasing power parity, and the variable capturing the proportion of environmental taxes in the country's tax structure, that quantifies environmental taxes as a share of total tax revenues.

Other variables used are the environmental health status of water, approximated by the Environmental Performance Index for water, obtained from the Yale University website; wastewater discharged per capita, measured as the volume of wastewater discharged in cubic metres per inhabitant per year, the data for which come from the UN AQUASTAT database; the Human Development Index, indicator of the countries' level of socio-economic development sourced from the United Nations Development Program (UNPD); WFD implementation, dummy variable capturing year of entry into force of this standard, obtained from the Directive 2000/60/EC. The social support for green political movements, a categorical variable, is measured as the number of seats obtained by green parties in the European Parliament in the years 1999, 2004 and 2009, the data for which are obtained from the European Parliament website.

The analysis of the situation in the different Spanish regions in relation to revenues collected for sanitation and wastewater treatment is based on the relevant data provided by the INE. They are average values for each region and include the amounts charged to users for the following: a) sewerage service, b) wastewater treatment, and c) ecological taxes charged by different institutions, including the sanitation rate

established by the relevant regional authority to cover the construction and maintenance of the WWTPs. The analysis also includes taxes on treated wastewater discharged into public water resources (discharge control), the tariff established by the river basin authority or, if applicable, the registration fee established by the Autonomous Communities. Of the total collected, it is assumed that 50% is allocated to financing wastewater treatments [29].

The treatment costs by type are obtained from the results of different empirical studies, carried out in different years and countries, published in scientific articles [5, 30-38]. The average annual costs of the operation, maintenance and investment (depreciation) in a WWTP are calculated, on the basis of the three most commonly-used secondary treatments and some specific tertiary treatments. In all cases, the costs used correspond to those of urban wastewater. For the sake of comparability, variables are measured in standardized units, with all values presented in euros. To do so, the official exchange rate between the corresponding currency and the euro in the year of the empirical research of the sources. Likewise, all data on costs have been updated to 2014, using the INE consumer price index.

The INE also provides information by regions on the volume of wastewater reused, water supplied and water available; the surface water, groundwater and desalinated water used in the agricultural sector; population; and revenues collected for sanitation and wastewater treatment, expressed in euros per cubic metre. The variables agricultural production, measured as crop production, and irrigated area, corresponding to the hectares of irrigated land relative to total cultivated cropland, have as are sourced from the Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.

The research involves the use of various statistical and econometric techniques to meet the proposed objectives. Although each of the following chapters has a section in which the methodology used is explicitly detailed, a summary of the main characteristics of the general methodology is presented in the following paragraph.

Due to the nature of the data used in each article, the main econometric technique used has been panel data methods. This is the most appropriate technique for answering our research questions, as the data combine cross-sectional and temporal dimensions. The use of panel data has multiple advantages, such as providing a greater number of observations, increasing the degrees of freedom, reducing collinearity among the explanatory variables and improving the efficiency of econometric estimations. It also captures unobservable heterogeneity both between individual units of study and over time, and enables better examination of the dynamics of adjustment. Moreover, compared to time series and cross-section analyses, it allows relatively complex models of behaviour to be built and tested.

1.5. Contribution of the articles

This review introduces the studies included in this doctoral thesis, summarizing the objectives of each of the papers:

1.5.1. List of publications

Paper n. 1	“The tax burden on wastewater and the protection of water ecosystems in EU countries”
Authors	L. Gallego-Valero, E. Moral-Pajares, I.M. Román-Sánchez
Source	<i>Sustainability</i>
Volume, number	10(1), 212
JCR classification	Environmental Studies (Q2)
Impact index	2.075 (Q2)
DOI	10.3390/su10010212

Paper n. 2	“Analysis of environmental taxes to finance wastewater treatment in Spain: an opportunity for regeneration?”
Authors	L. Gallego-Valero, E. Moral-Pajares, I.M. Román-Sánchez, J.A. Sánchez-Pérez
Source	<i>Water</i>
Volume, number	10(2), 226
JCR classification	Water Resources (Q2)
Impact index	2.069 (2017)
DOI	10.3390/w10020226

Paper n. 3 “Crop production and irrigation: deciding factors of wastewater reuse in Spain?”	
Authors	L. Gallego-Valero, E. Moral-Pajares, I.M. Román-Sánchez
Source	<i>Desalination and Water Treatment</i>
Volume, number	150 (2019) 91-98
JCR classification	Water Resources (Q3)
Impact index	1.383 (2017)
DOI	10.5004/dwt.2019.23618

1.5.2. The tax burden on wastewater and the protection of water ecosystems in EU countries.

The negative impact of untreated wastewater on health, the economy and the environment calls for an examination of the different aspects involved in this issue. The purpose of this first study is twofold. First, to conduct a comparative analysis of the relative impact of taxes on wastewater discharges as an instrument to prevent or reduce pollution at source in different European Union countries between 2000 and 2013. Second, based on the arguments derived from the literature reviewed, to identify a possible link between the tax burden on wastewater discharges and the quality of aquatic ecosystems and various variables of an economic and institutional nature.

The level of socioeconomic development of the countries, the preferences of their citizens, the type of fiscal structure they maintain, and the sensitivity of the government towards the protection of the environment are, among others, determining factors of the ecotaxes levied on wastewater discharge in a national economy. Specifically, this study investigates whether there is a relationship between the tax burden on wastewater in a group of European Union countries and the Environmental Performance Index for water, the per capita volume of wastewater discharged, the current public-sector expenditure on environmentally-beneficial actions, the relative weight of environmental

taxes in the national tax structure, the level of economic and social development of national economies, the countries' supranational commitments aimed at protecting water resources, and public support for green parties. Above all, it is intended to contribute to the empirical literature on the subject and establish valid arguments that can help guide the actions of both individuals and the bodies responsible for wastewater management towards protecting water resources.

1.5.3. Analysis of environmental taxes to finance wastewater treatment in Spain: an opportunity for regeneration?

Chapter 3 aims to perform a comparative analysis of the revenues collected in the different regions of Spain, based on the taxes levied on wastewater. The justification for such taxes is to finance secondary treatments, which are mandatory under Directives 91/271/EEC and WFD, and tertiary treatments, which are essential for the conservation of the environment. Also, where appropriate, taxes may fund the reclamation and reuse of wastewater, in order to reduce this country's substantial water deficit. To this end, the analysis uses the costs per cubic metre of treated wastewater estimated in different empirical investigations, the results of which have been published in scientific journals. It is worth bearing in mind that, depending on the applied tertiary treatment, two possible treatment objectives are identified: environmental, based on the elimination of microcontaminants; and reuse, through disinfection treatments.

The aim of this research is not to determine the economic efficiency of the management of the wastewater treatment system in Spain in 2014. Quite the contrary, based on the latest statistical data published on the revenue generated by sewage and wastewater treatment charges, the objective is to evaluate the effectiveness of a tax scheme linked to wastewater, which remains constant over time and is only updated annually using the consumer price index. This is a system largely controlled by local politicians, who in many cases do not act on the basis of economic rationality, sometimes resulting in flawed outcomes. This paper attempts to shed some light on the inconsistencies in a less-than-transparent practice, which give rise to irrational situations such as having a WWTP, financed with resources from regional and/or supra regional

institutions, which is not in operation because the collection is not enough to cover its operating costs.

1.5.4. Crop production and irrigation: deciding factors of wastewater reuse in Spain?

The reuse of wastewater is considered an indispensable tool for increasing the availability of water resources, as it provides an alternative source of supply, which is both economical and safe from a sanitary and environmental point of view [39-41]. This increase in supply helps reduce the dependence on groundwater and surface water sources [42, 43]. In addition, it is worth noting that water consumption for the irrigation of crops and landscapes accounts for 70% of the fresh water extracted globally [2, 44, 45], making the use of reclaimed water for irrigation a promising option for freeing up resources [46]. Indeed, this practice has already been implemented in many countries [47, 48].

In Spain, the natural shortage of water resources, aggravated in times of drought, has been an ongoing issue in Spanish Mediterranean coastal regions since the 1950s. This has been further exacerbated by population growth and the demand for water from different production processes [49]. The territorial factor is a major influence, since this issue concerns a largely agrarian country with a high water stress index in comparison with the rest of the world, with levels of water scarcity with respect to demand of between 40% to 80% [50]. This situation explains why, in much of the Spanish territory in need of water resources, reused water is seen as an opportunity to free up conventional resources. In fact, since 2000, there has been growing use of reused water in some regions, influenced by the improved conditions of the effluents discharged, due to the entry into force of European Union regulations. Reuse facilitates an increase in supply, an important issue in a country with substantial water needs linked to its production system and, more specifically, to agricultural production. This is particularly the case in certain areas, such as Andalusia [49, 51-54].

The objective of this paper is to study the existing status of reused wastewater in Spain and its different Autonomous Communities, based on the latest available data, and to analyse the influence of certain factors in its volume evolution. Specifically, it is determined whether the volume of reclaimed wastewater is conditioned by the public revenues from sanitation and wastewater treatment taxes collected in each region, which allow the financing of wastewater reclamation systems. The link with other variables proposed in the revised empirical literature is also examined; these include the crop production of the regions, their irrigated area, the relative scarcity of water resources, the accessibility of surface water, desalinated water and groundwater, the total population of the region and the state of the economy. This study establishes a dependent relationship between the volume of wastewater reused and the revenues collected for wastewater treatment, as well as other factors analysed. A panel data model is estimated with a sample of 187 observations from 17 Spanish regions between 2004 and 2014.

1.5.5. Other publications related to the Doctoral Thesis

1.5.5.1. Articles, books and book chapters

1. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. Tributación sobre aguas residuales en la Unión Europea: el caso de España. In *Agua y ecología política en España y México*; Torres-Rodríguez, A., Moral-Pajares, E. (coords); UJA Editorial y Universidad de Guadalajara: Jaén, Spain, 2018.
2. Moral-Pajares, E.; Gallego-Valero, L.; Román-Sánchez, I. M. Cost of urban wastewater treatment and ecotaxes: evidence from municipalities in Southern Europe. *Water* **2019**, *11*(3), 423.
3. Moral-Pajares, E.; Gallego-Valero, L.; Román-Sánchez, I.M.; Sánchez-Pérez, J.A. *Protección del medio ambiente y vertido de aguas residuales: análisis de la gestión del proceso de depuración de los efluentes hídricos urbanos en la provincia de Jaén*. Premio de Investigación Agraria y Medioambiental 2018. Instituto de Estudios Giennenses, Jaén, 2019 (pending publication).

4. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. Protección del medio natural hídrico y tasas por depuración de aguas residuales: el caso de la provincia de Jaén. *Boletín del Instituto de Estudios Giennenses*, 2019 (pending publication).

1.5.5.2. Congresses

1. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. El agua: una aproximación al análisis impositivo y a los costes de las tecnologías de depuración. *XVIII Reunión Economía Mundial*. Alcalá de Henares, España, 2016.
2. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. El potencial de la imposición ambiental para la adecuada gestión del agua. *ASEPELT*, Valencia, 2016.
3. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. Análisis comparativo de la política autonómica de gestión del agua: saneamiento y depuración. *ASEPELT*, Valencia, 2016.
4. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. Tratamiento y reutilización de las aguas residuales en España (2000-2014): Estado de la cuestión. *IV Encuentro de Especialización para la Investigación en Economía, Empresa y Derecho*, Almería, 2016.
5. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. La Directiva Marco del Agua como determinante del proceso de depuración y saneamiento en España. *Seminario Internacional "Experiencias locales en la creación de empresas: España y América Latina"*, Jaén, 2017.
6. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. Tributos y aguas residuales en países de la Unión Europea. *XIX Reunión de Economía Mundial*, Huelva, 2017.
7. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. Wastewater reuse: analysis of determinig factors in Spain. *ASEPELT*, Lisbon, 2017.

8. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. ¿La producción agraria determina la utilización de aguas regeneradas en España? *XI Congreso de la Asociación Española de Economía Agraria*, Elche y Orihuela, 2017.
9. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. La UE y la protección de los recursos hídricos del territorio. El caso de España. *XXXII Encuentro Arethuse*, Jaén, 2017.
10. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. Determinantes del esfuerzo fiscal sobre aguas residuales en países de la UE: Una aproximación con datos de panel. *XX Reunión de Economía Mundial*, Almería, 2018.

References

1. Raschid-Sally, L., Jayakody, P. *Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries: Results from a global assessment*; International Water Management Institute: Colombo, Sri Lanka, 2009.
2. UNESCO. *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2017. Aguas residuales, el recurso desaprovechado*; UNESCO: Paris, France, 2017.
3. PNUMA. Economic Valuation of Wastewater - The Cost of Action and the Cost of No Action. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Available online:
<http://unep.org/gpa/Documents/GWI/Wastewater%20Evaluation%20Report%20Main.pdf>, 2015.
4. Collins, R.; Kristensen, P.; Thyssen, N. *Water Resources across Europe – Confronting Water Scarcity and Drought*; European Environmental Agency (EEA Report series. N. 2/2009): Copenhagen, Denmark, 2009.
5. Molinos-Senante, M.; Hernández-Sancho, F.; Sala-Garrido, R. Economic feasibility study for wastewater treatment: A cost–benefit analysis. *Science of the Total Environment* **2010**, *408*, 4396–4402.
6. Schewe, J.; Heinke, J.; Gerten, D.; Haddeland, I.; Arnell, N. W.; Clarke, D. B.; Dankers, R.; Eisner, S.; Fekete, B.M.; Colón-González, F. J.; Gosling, S. N.; Kim, H.; Li, X.; Masakim, Y.; Portmann, F. T.; Satoh, Y.; Stacke, T.; Tang, Q.; Wada, Y.; Wissers, D.; Albrecht, T.; Frieler, K.; Piontek, F.; Warszawski, L.; Kabat, P. Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2014**, *111*(9), 3245-3250.
7. Pedro-Monzón, M.; Solera, A.; Ferrer, J. Estrela, T.; Paredes-Arquiola, J. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal of Hydrology* **2015**, *527*, 482-493.
8. Molinos-Senante, M., Sala-Garrido, R., Hernández-Sancho, F. Marco jurídico del saneamiento y tratamiento de aguas residuales: evolución en el derecho comunitario estatal y autonómico. *Medio Ambiente y Derecho: Revista electrónica de Derecho*

- Ambiental* **2013** (23). Available online: http://huespedes.cica.es/gimadus/23/05_marco_juridico_del_saneamiento.html
9. González, F.; Prado, A.J. La Imposición Ambiental Autonómica. In *La Financiación de las Comunidades Autónomas: Políticas Tributarias y Solidaridad Interterritorial*; Bosch, N., Durán, J.M., Eds; Edicions i Publicacions de la Universitat de Barcelona: Barcelona, Spain, 2005.
 10. Berbel, J.; Expósito, A. Análisis del coste del servicio de abastecimiento urbano de agua en la demarcación del Guadalquivir. *Revista de Estudios Regionales* **2006**, 76, 161-183.
 11. Filipović S.; Golušin M. Environmental taxation policy in the EU–new methodology approach. *Journal of Cleaner Production* **2015**, 88, 308-317.
 12. Castellet, L.; Molinos-Senante, M. Efficiency assessment of wastewater treatment plants: A data envelopment analysis approach integrating technical, economic, and environmental issues. *Journal of Environmental Management* **2016**, 167, 160-166.
 13. Web of Science. Available online: <http://wos.fecyt.es/>
 14. Pigou, A. *The Economics of Welfare*. Available online: <http://www.econlib.org/library/NPDBooks/Pigou/pgEW0.html>, 1920.
 15. Lozano, B. La nueva etiqueta ecológica de la Unión Europea. *Revista Interdisciplinar de Gestión Ambiental* **2001**, 330, 25-34.
 16. Gago, A.; Labandeira, X., Picos, F., Rodríguez, M. La imposición ambiental como opción para España. *Papeles de Economía Española* **2014**, 139, 142-152.
 17. Baumol, W.; Oates, W. *The theory of environmental policy*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1988.
 18. Panayotou, T. *Instruments of Change: Motivating and Financing Sustainable Development*; Routledge: London, UK, 2013.
 19. Barbier, E.B.; Markandya, A. *A New Blueprint for a Green Economy*; Routledge: London, UK, 2013.
 20. Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD). *Towards Green Growth? Tracking Progress*; Organization for Economic Co-Operation and Development: Paris, France, 2015.

21. Riera, P. *Manual de Economía Ambiental y de los Recursos Naturales*; Paraninfo: Madrid, Spain, 2005.
22. Rahola, G.; Muñoz Requena, A.; Ruaix Prat, T. El coste del vertido industrial en varias Comunidades Autónomas españolas y en algunos territorios europeos. Los cánones y tasas de depuración, *Tecnología del Agua* **2009**, *311*, 61-71.
23. Zárata, A.; Valles, J.; Trueba, C. Descentralización fiscal y tributación ambiental: el caso del agua en España. *Instituto de Estudios Fiscales* **2007**. Available online: http://www.ief.es/documentos/recursos/publicaciones/papeles_trabajo/2007_24.pdf
24. OECD/EEA. Database on Instruments Used for Environmental Policy and Natural Resources Management. Available online: <http://www2.oecd.org/ecoinst/queries/>
25. Román-Sánchez, I.M.; Carra, I.; Sánchez-Pérez, J.A. Promoting environmental technology using sanitary tax: the case of agro-food industrial wastewater in Spain. *Environmental Engineering Management Journal* **2014**, *13*, 961–969.
26. Magadán, M. Imposición verde y financiación autonómica. Evolución y estructura territorial. *Economía Industrial* **2009**, *371*, 155-167.
27. Trejo, Y. C. y Ome, A. La fiscalidad de las aguas en el sistema tributario español. *Revista Direito e Desenvolvimento* **2013**, *4(8)*, 245-291.
28. García, M.D.; Torgler, B. Impuestos y protección medioambiental: preferencias individuales en Europa. *Revista de Economía Aplicada* **2010**, *18*, 107–132.
29. MAPAMA. Anejo IX. 2013. *Recuperación de costes de los servicios del agua. Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.* Available online: https://www.chminosil.es/phocadownload/documentos/file/plan_hidrologico/00-Anejos/A09-Recuperacion-de-costes/A09_Recuperacion_Costes.pdf. Spanish, 2017.
30. Bode, H.; Grünebaum, T. The cost of municipal sewage treatment—structure, origin, minimization—methods of fair cost comparison and allocation. *Water Science and Technology* **2000**, *41(9)*, 289-298.
31. De la Cruz, N.; Esquiús, L.; Grandjean, D.; Magnet, A.; Tungler, A.; De Alencastro, L. F.; Pulgarín, C. Degradation of emergent contaminants by UV, UV/H₂O₂ and neutral photo-Fenton at pilot scale in a domestic wastewater treatment plant. *Water Research* **2013**, *47(15)*, 5836-5845.

32. Friedler, E.; Pisanty, E. Effects of design flow and treatment level on construction and operation costs of municipal wastewater treatment plants and their implications on policy making. *Water Research* **2006**, *40*(20), 3751-3758.
33. Gómez, M.; Plaza, F.; Garralón, G.; Pérez, J.; Gómez, M. A. A comparative study of tertiary wastewater treatment by physico-chemical-UV process and macrofiltration-ultrafiltration technologies. *Desalination* **2007**, *202*(1-3), 369-376.
34. Hernández-Sancho, F.; Molinos-Senante, M.; Sala-Garrido, R. Cost modelling for wastewater treatment processes. *Desalination* **2011**, *268*, 1-5.
35. Molinos-Senante, M.; Hernández-Sancho, F.; Sala-Garrido, R. Cost-benefit analysis of water-reuse projects for environmental purposes: A case study for Spanish wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management* **2011**, *92*, 3091-3097.
36. Prieto-Rodríguez, L.; Oller, I.; Klamerth, N.; Agüera, A.; Rodríguez, E. M.; Malato, S. Application of solar AOPs and ozonation for elimination of micropollutants in municipal wastewater treatment plant effluents. *Water Research* **2013**, *47*(4), 1521-1528.
37. Theregowda, R.; Hsieh, M. K.; Walker, M. E.; Landis, A. E.; Abbasian, J.; Vidic, R.; Dzombak, D. A. Life cycle costs to treat secondary municipal wastewater for reuse in cooling systems. *Journal of Water Reuse and Desalination* **2013**, *3*(3), 224-238.
38. Zhuang, Y.; Ren, H.; Geng, J.; Zhang, Y.; Zhang, Y.; Ding, L.; Xu, K. Inactivation of antibiotic resistance genes in municipal wastewater by chlorination, ultraviolet, and ozonation disinfection. *Environmental Science and Pollution Research* **2015**, *22*(9), 7037-7044.
39. Angelakis, A.N.; Snyder, S.A. Wastewater Treatment and Reuse: Past, Present, and Future. *Water* **2015**, 4887-4895.
40. Melgarejo, J. Efectos ambientales y económicos de la reutilización del agua en España. *Cim.Economía* **2009**, *15*, 245-270.
41. Lazarova, V.; Levine, B.; Sack, J.; Cirelli, G.; Jeffrey, P.; Muntau, H.; Brissaud, F. Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries. *Water Science & Technology* **2001**, *43*(10), 25-33.

42. Ruiz-Rosa, I.; García-Rodríguez, F.J.; Mendoza-Jiménez, J. Development and application of a cost management model for wastewater treatment and reuse processes. *Journal of Cleaner Production* **2016**, *113*, 299-310.
43. Gharbia, S.S.; Aish, A.; Abushbak, T.; Qishawi, G.; Al-Shawa, I.; Gharbia, A.; Pilla, F. Evaluation of wastewater post-treatment options for reuse purposes in the agricultural sector under rural development conditions. *Journal of Water Process Engineering* **2016**, *9*, 111-122.
44. FAO. *Water reuse in agriculture: benefits for all?*, Food and Agriculture; Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2013.
45. World Bank, *Improving Wastewater Use in Agriculture: An Emerging Priority*. Available online: https://www.researchgate.net/publication/46443890_Improving_Wastewater_Use_in_Agriculture_An_Emerging_Priority, 2010.
46. FAO. *FAO Statistical Yearbook 2013, World Food and Agriculture*; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2013.
47. Al-Mashaqbeh, O.A.; Ghrair, A.M.; Megdal, S.B. Grey water reuse for agricultural purposes in the Jordan Valley: Household survey results in Deir Alla, *Water* **2012**, *4*, 580-596.
48. Becerra-Castro, C.; Lopes, A.R.; Vaz-Moreira, I.; Silva, E.F.; Manaia, C.M.; Nunes, O.C. Wastewater reuse in irrigation: a microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environmental International* **2015**, *75*, 117-135.
49. Olcina, J.; Moltó, E. Recursos de agua no convencionales en España: Estado de la cuestión, 2010. *Investigaciones Geográficas* **2010**, *51*, 131-163.
50. World Resources Institute. *Water Stress by Country*. Available online: <http://www.wri.org/resources/charts-graphs/water-stress-country>, 2017.
51. Martín-Ortega, J.; Gutiérrez, M.; Berbel-Vecino, J. Caracterización de los usos del agua en la demarcación del Guadalquivir en aplicación de la Directiva Marco del Agua. *Revista de Estudios Regionales* **2008**, *81*, 45-76.
52. Martín-Ortega, J. Análisis estratégico del sector hídrico en Andalucía. *Revista de Estudios Regionales* **2011**, *92*, 147-172.

53. Molinos-Senante, M.; Hernández-Sancho, F.; Sala-Garrido, R. Estado actual y evolución del saneamiento y la depuración de aguas residuales en el contexto nacional e internacional. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* **2012**, 32(1), 69-89.
54. Salgot, M.; Folch, M. Reutilización de aguas residuales. In *Aguas continentales. Gestión de recursos hídricos, tratamiento y calidad del agua*; Barceló, D., Ed; Consejo Superior de Investigaciones Científicas: Madrid, Spain, 2008.

CHAPTER 2: PAPER 1

Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I. M. The tax burden on wastewater and the protection of water ecosystems in EU countries. *Sustainability* 2018, 10(1), 212.

Abstract

80% of all wastewater is discharged into the environment without first eliminating contaminants, and the consequences are cause for concern. The ecotaxes levied on effluents in many developed countries are aimed at preventing and minimizing water pollution and also, in part, helping to finance proper water reclamation facilities. The aim of this study is to conduct a comparative analysis of the current tax burden in a set of European Union countries on wastewater discharges and to assess its relationship with the quality of fresh water and other economic and political variables. The paper draws on different theoretical arguments and estimates a panel data model to verify the effectiveness of taxes in protecting aquatic ecosystems. These taxes are directly dependent on the environmental health status of water and inversely linked to the volume of discharged wastewater. In addition, a direct relationship is found between the tax burden on wastewater discharges and the variables representing the Human Development Index, the per capita expenditure on protecting water resources, the relative weight of ecotaxes in a country's total tax revenues, and public support for green political movements.

<https://doi.org/10.3390/su10010212>

CHAPTER 3: PAPER 2

Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I. M.; Sánchez-Pérez, J.A.

Analysis of environmental taxes to finance wastewater treatment in Spain: an opportunity for regeneration? *Water* 2018, 10(2), 226.

Abstract

The treatment of wastewater, financed through environmental taxes, is key to the development of a sustainable economy. The objective of this study is to verify whether the tax loads on wastewater discharges applied in Spain are effective, allowing the costs of secondary and tertiary treatments to be financed. First, the revenues collected from taxes related to the discharge of wastewater in the different Spanish regions, which reach an average value of 0.72 €/m³, are analysed. Second, the costs of secondary wastewater treatment, prolonged aeration, activated sludge with nutrient removal, and activated sludge without nutrient removal are studied. Additionally, the costs of tertiary treatments, with environmental objectives and for reuse purposes, are considered. The analysis carried out reveals high heterogeneity in the amounts collected through taxes in the different Autonomous Communities. In some cases, these amounts do not cover the costs of the treatments. An urgent review is therefore required of the financing systems applied in order to secure a level of income that can cover all the exploitation and investment costs incurred.

<https://doi.org/10.3390/w10020226>

CHAPTER 4: PAPER 3

Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I. M. Crop production and irrigation: deciding factors of wastewater reuse in Spain? *Desalination and Water Treatment* 2019.

Abstract

Water scarcity in Mediterranean countries, especially in drought periods, justifies the use of wastewater. The deficit of water resources influences crop productivity and threatens environmental sustainability. The objective of this paper is to analyse whether agricultural production and irrigation area determine the volume of reused wastewater in Spain. To that end, a panel data model is estimated with 187 observations from 17 Spanish regions between 2004 and 2014. The results obtained show that wastewater reuse depends on agricultural variables as well as factors which affect the supply and demand of water. These include the relative scarcity of water resources; the availability of surface water, groundwater and desalinated water; the population; and the revenues collected for sanitation and wastewater treatment. Prevailing economic conditions, however, are not a determining factor. Therefore, there is an urgent need to develop appropriate management systems that guarantee the financing of sanitation and water reclamation services in all the regions that have significant crop production and scarcity of water resources.

Doi: 10.5004/dwt.2019.23618

CHAPTER 5

CONCLUSIONS

5.1. Final considerations

The discharge of untreated wastewater causes the pollution of surface water (rivers, lakes and seas) and groundwater (aquifers), with significant direct effects on the natural environment. A lack of wastewater treatment plants for the discharges from urban centres means that the physical, chemical and microbiological conditions of the receiving water masses are adversely affected. This directly influences the flora and fauna, and indirectly impacts human health. Inadequate management of wastewater has an immediate repercussion on the natural aquatic environment and, in the medium term, impacts social well-being and livelihoods. Today, protecting and conserving water ecosystems is a priority for supranational institutions such as the UN, the OECD or the European Union.

In the European Union, Directive 91/271/EEC and the WFD establish the obligation to treat urban wastewater in accordance with the cost recovery principle. This Doctoral Thesis focuses on studying the ecotaxes on wastewater discharges in Spain, and attempts to provide answers to different questions arising in the new management scenario in this field. The scope of this study covers a series of specific issues that have gained importance in recent years, such as the diversity of tax instruments linked to wastewater, wastewater taxes in Spain compared to other countries in the European Union, the heterogeneity of such taxes in the Spanish regions, their effectiveness in financing wastewater reclamation and reuse, the use of wastewater as a water resource, etc.

The review of the literature and the research developed in the preceding pages has allowed us to test the hypotheses set out in the first chapter. Thus, regarding the aspects addressed in each of the articles presented, the analysis has led to the conclusions that are detailed below. First, this thesis explores the tax burden on wastewater in the European Union, and its dependence on different variables. Next, this paper analyses the effectiveness of ecotaxes on wastewater as a means of financing the costs of wastewater treatments. Finally, it is confirmed whether the tax revenues from wastewater collected in the different Spanish regions, as well as a number of other variables, are related to the volume of wastewater reused.

The first article (chapter 2) notes the disparity in the European Union regarding the use of ecotaxes on water and wastewater, and confirms the relationship between the tax burden on wastewater and seven influential variables, which had previously been identified in the literature. While existing studies have analysed the different tax instruments for controlling environmental pollution, this article contributes by specifically identifying the link between a number of different factors and the tax burden on wastewater. Based on a previous bibliographic exploration, a model with 7 dependent variables is specified, referred to 13 European Union countries. Focusing on the period 2000-2013, this research provides a comparative analysis of the relative impact of taxes on wastewater discharges as an instrument to prevent or reduce pollution at source, as well as identifying links.

The results show the ongoing growth in tax revenues from water and wastewater in recent years in the 13 countries under analysis, reflecting persistent concern about this issue. Between 2000 and 2013, the total amount collected in taxes aimed at preventing or reducing pollution, in terms of pollution load and/or volume of wastewater produced, shows a cumulative average annual growth rate of 4.83%, with annual variations of more than 20% in 2003 and 2008. As a result, the total value of these tax revenues is 1.84 times greater by the end of this 13-year period. This evolution, however, does not reflect a uniform trend for all the countries considered: whereas Belgium registers a 55.84% reduction in the income derived from ecotaxes on water and wastewater over this period, Spain reports a five-fold increase. In 2013, the Netherlands had the highest tax burden, collecting tax revenues of \$0.96 for each cubic metre of wastewater discharged. It was followed by France, Slovenia, Denmark, Hungary and Belgium. All the other countries analysed had a very low tax burden, below \$0.1/m³.

The panel data analysis confirms the hypotheses raised, finding the most influential variables to be the environmental health status of water and the Human Development Index, which show a positive relationship with the tax burden on wastewater discharges at the 1% significance level, and with the greatest effect in percentage terms. The inverse relationship between wastewater discharges and the tax burden is confirmed, attesting to the effectiveness of tax instruments as a mechanism for

ensuring better environmental conditions. Also of note are the sign and level of significance of the variable representing public support for green parties, the weight of environmental taxation in the national tax structure and the per capita public expenditure on environmental protection, both of which show a direct relationship with the tax burden on wastewater. The variable capturing the entry into force of the WFD is not, however, significant.

The findings obtained suggest the need for tax instruments to prevent actions that are harmful to the environment. First of all, it is necessary to simultaneously promote economic growth and protect natural resources, in order to achieve improvements in both quality of life and in productivity. A key limitation of this first research paper is the availability of data. In this preliminary study, the greatest difficulty was obtaining homogenized data for the variables analysed. Taking into account the above, the analysis could be greatly extended when complete databases on the different factors become available for all the countries of the European Union. In addition, the territorial scope of analysis could be extended to include the OECD countries, when complete data on them becomes available.

The second article (chapter 3) analyses the capacity of taxes on wastewater to finance treatment costs. Previous studies are mainly responsible for quantifying the cost of specific treatments, albeit mostly in an experimental situation, and there are precedents of feasibility studies for specific regions. This work focuses on analysing the existing financing capacity in the different regions of Spain, covering different treatments, both secondary and tertiary. The degree of compliance with Community regulations is evaluated, checking whether it is possible to pay for secondary treatments, which are mandatory under Directives 91/271/EEC and 2000/60/EC, and tertiary treatments, which are essential for the conservation of the environment and, where applicable, for the reuse of wastewater.

The results show the high territorial heterogeneity of the tax revenues associated with wastewater discharges, despite the existence of common general legislation. The average tax rate for Spain is 0.72 €/m³, which is less than the amount collected in the Communities of Andalusia, Aragon, Asturias, the Balearic Islands, Cantabria, Catalonia, the Valencian Community, Community of Madrid, Murcia, and the Basque Country. Regarding the capacity to finance the treatment with the revenue generated by taxes on wastewater discharges, it is not confirmed in many cases. Only Catalonia and the Balearic Islands have a greater surplus. Also, in Andalusia, Aragon, Cantabria, the Valencian Community, Community of Madrid, Murcia and the Basque Country, the secondary treatment can be financed. In all regions, the revenue available to finance ozonation treatment (tertiary) is insufficient. Catalonia is the only region that could finance UV-H₂O₂ treatment for effluent regeneration. In twelve regions there is no capacity to self-finance the chlorination process despite its low cost, and only two (Balearic Islands and Catalonia) could cover UV treatment. In almost the entire national territory, the use of tax revenues to implement the processes that guarantee complete water sanitation for environmental purposes (removal of microcontaminants) is economically unviable because it does not fulfil the principle of financial balance. In general, the analysis found no self-sufficiency in terms of financing the operating and investment expenses needed to provide the required wastewater treatment service, thus making it in which it is incurred to resort to resources other than those collected for this purpose.

This research takes into account the costs of operation and maintenance, but not the environmental cost, due to the complexity of measuring it, which is a limitation of the study. The WFD, in addition to stipulating that there must be a financial equilibrium, establishes that the argument of economic rationality should be considered, optimizing available resources while conserving water and protecting the environment. The inclusion of these issues could result in a broader and more complete study, which would open up new lines of future research.

The third article (chapter 4) analyses the evolution of reused water in the Spanish regions between 2004 and 2014. It also examines the relationship between reused water and various factors that were previously identified as relevant in the literature. A model with nine dependent variables is specified for the period 2004-2014, with data from the 17 Spanish regions, using panel data methodology. This study shows the increasing trend between 2004 and 2014 in the total volume of reused wastewater in Spain as a whole, with the Valencian Community reporting the highest volume. In this period, the volume of wastewater treated and reused in Spain registered a cumulative average annual growth of 3.73%. However, this variable does not show a uniform trend in all the regions considered: while the Canary Islands, Extremadura and Galicia reduced the amount of wastewater reused in this period, Madrid registered a threefold increase in volume. The variables that most influence the volume of wastewater reused are the revenues collected from sanitation and wastewater, which fund the different treatments, the agricultural production, the irrigated area, the relative scarcity of water resources and the population, all significant at 1%, which confirms the positive relationship expected. The variables desalinated water and surface water for the agricultural sector are also significant at 1%, showing a negative relationship with the volume of wastewater reused. They can thus be seen as substitutes for reused wastewater. On the contrary, when it comes to groundwater used for irrigation in the agricultural sector, the reused water is perceived as a complementary resource, aimed at augmenting existing supply, although the relationship between the two is not found to be significant. Likewise, the relationship between the variable referred to the economic situation and the use of reclaimed wastewater is not found to be significant, although the expected negative sign is confirmed.

This work suggests that the increase of this resource is key to alleviate water scarcity, especially in areas of the Mediterranean basin. It will also help to reduce overexploitation and the pollution of aquatic ecosystems. To do so, however, there must be an adequate and transparent financing system.

As in the first case of study, the main limitation of the research in this thesis is the availability of data. This sector is characterized by opacity and the difficulty of accessing relevant information; the results can thus be improved and expanded when a more complete and up-to-date database is available.

Overall, this Doctoral Thesis helps to shed light on the effectiveness of tax burdens in protecting the environment, and more specifically the water environment, contributing a new approach to the literature. In addition, it has a practical application as it can help guide the actions of the institutions in charge of guaranteeing the conservation of the water environment, with recommendations for public administration and private organizations. As has been demonstrated, this area is characterized by its lack of transparency, greatly complicating the task of accessing useful information for research and, as a consequence, making it more difficult to improve management in this field. The initiatives carried out to achieve the implementation of taxes on wastewater require public consultation, education plans to raise awareness of the need for these instruments and the development by appropriate authorities of appropriate and transparent financing systems, based on collaboration between public and private initiatives. First of all, the authorities responsible for the wastewater treatment service must take the appropriate measures to cover the operational and investment costs required to ensure the proper functioning of the treatment plants. Moreover, citizens should be able to observe how their tax contributions help to improve the conditions of the natural environment. It is therefore necessary to provide adequate information that allows them to evaluate the actions carried out. Lastly, public awareness should be raised regarding the protection of the natural environment and the use of treated wastewater as a valuable and sustainable resource.

In summary, it can be said that the research developed has satisfactorily fulfilled the objectives set out in this thesis, contributing new knowledge to the study of taxes levied on wastewater. Thus, it has been confirmed that the study of economic and non-economic variables, such as water stress, population or the environmental health status

of water, constitutes the basis for the identification of key elements in the research carried out in this Thesis.

Finally, it should be noted that the preparation of this Doctoral Thesis has already led to the publication of some of the doctoral student's papers. Furthermore, other results of the research are in the process of being published, and the work has been selected for a research award.

5.2. Directions for future research

Future research should continue to focus on this topic, applying different approaches, bearing in mind that there are many possible avenues to explore. Among them, the following research objectives are proposed:

1. To analyse the importance of investing in wastewater treatment through the Structural and Investment Funds 2014-2020 at the European community and country levels. The objective should be to identify the priorities for investment in the water sector in order to respond to the needs identified by the Member States.
2. To understand the situation in Spain and the drivers of spending on investments aimed at improving the water quality status and status of associated ecosystems during the last decade, based on the information provided by the General State Budgets.
3. To research the rates that are applied in different municipalities of the same province or region and the variables on which they depend, identifying any differences in their design and components.
4. To study the applied tariff systems, analysing whether or not they are progressive, which would ensure that the higher the volume of wastewater generated, the greater the contribution to the treatment costs.
5. To carry out an efficiency analysis, by means of DEA, in terms of cost recovery of the applied ecotaxes.
6. To analyse cost recovery for different uses of water—domestic, industrial and agricultural—taking into account the principles set out in the WFD.
7. To research what happens in the recovery of by-products and their use, especially in agriculture, by studying the case of Andalusia and comparing it with the situation in other regions, particularly the Valencian Community and Murcia.

Although the issue of the use of wastewater taxes to protect the natural water environment is by no means resolved, it is hoped that the contributions of this Doctoral Thesis have helped to improve the interpretation of this aspect of the economics of the environment.

RESUMEN DE LA TESIS
DOCTORAL EN
ESPAÑOL

APPENDIX A

INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación de la investigación

La importancia del agua para el desarrollo humano, el medio ambiente y la economía justifica que en 2010 la ONU reconociera el derecho al agua y al saneamiento. Posteriormente, en 2015, la Asamblea General de la ONU contempla el derecho a “un saneamiento que sea saludable, higiénico, seguro, social, culturalmente aceptable, que garantice la intimidad y la dignidad, considerando la premisa *“agua limpia y saneamiento”* como uno de los 17 objetivos globales de la nueva Agenda para el desarrollo sostenible 2030, aprobada el 25 de septiembre de 2015. Concretamente, la meta 6.3 de dicha Agenda establece: *“Mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, la reducción a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y un aumento sustancial del reciclado y la reutilización en condiciones de seguridad a nivel mundial”*. La adecuada gestión de este recurso también se encuentra incluido en el objetivo 15 (acción sobre el clima, eficiencia, recursos y materias primas) de la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología de la Innovación 2020, y coincide con la política de la Unión Europea para garantizar la sostenibilidad de las aguas comunitarias, concretada en la Directiva 91/271/CEE y, posteriormente, en la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE (DMA). En esta línea se incluye, además, la propuesta de la OCDE en el marco de las Perspectivas Ambientales para el 2050, entre las que se considera la necesidad de protección de los medios hídricos.

La contaminación del agua se produce por la utilización de la misma por el ser humano, lo cual altera sus propiedades haciéndola inservible para un uso posterior. El informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos de 2017, dedicado a las aguas residuales, las define como una combinación de uno o más de los siguientes tipos: efluentes domésticos que consisten en aguas negras (excremento, orina y lodos fecales) y aguas grises (aguas servidas de lavado y baño); agua de establecimientos comerciales e instituciones, incluidos hospitales; efluentes industriales, aguas pluviales y otras escorrentías urbanas; y escorrentías agrícola, hortícola y acuícola [1]. El vertido sin tratar o con tratamiento inadecuado tendrá consecuencias de tres tipos:

- a) efectos nocivos para la salud humana, aumentando la carga de morbilidad por la menor calidad del agua potable, del agua de baño, debido a alimentos nocivos y al contacto con el recurso, así como la generación de resistencias a antibióticos;
- b) efectos ambientales negativos, disminuyendo la biodiversidad, degradando los ecosistemas acuáticos, provocando olores desagradables y aumentando la temperatura del agua, entre otros; y
- c) repercusiones desfavorables para las actividades económicas, incidiendo en la productividad agrícola e industrial, reduciendo el valor de mercado de los cultivos cosechados, reduciendo las oportunidades deportivas acuáticas, con importancia para el sector turismo, reduciendo las capturas de peces y mariscos o su valor de mercado, aumentando las barreras al comercio internacional, etc. [2, 3].

La política ambiental de la Unión Europea tiene entre sus objetivos fundamentales la conservación, protección y mejora de la calidad del agua, así como la utilización prudente y racional de los recursos naturales (Artículo 130R del Tratado de la Unión Europea). La mejora de la calidad de este recurso tiene que ir encaminada a la obtención de un mayor volumen de aguas regeneradas, que permitan la reutilización, contribuyendo con ello a incrementar la oferta de agua [4-7].

En 1991 en la Unión Europea se aprueba la Directiva 91/271/CEE, que regula el tratamiento de aguas residuales urbanas y establece las medidas necesarias que han de adoptar los Estados miembros para garantizar un adecuado tratamiento, previo a su devolución a las masas de agua. La transposición de esta Directiva se realiza en España a través del Real Decreto-Ley 11/1995, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. En el año 2000, la DMA fija un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, con el propósito de garantizar un buen estado ecológico y químico de los recursos hídricos, para proteger la salud humana, el suministro, los ecosistemas naturales y la biodiversidad. La transposición de esta Directiva en España se realiza mediante la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social, que incluye, en su

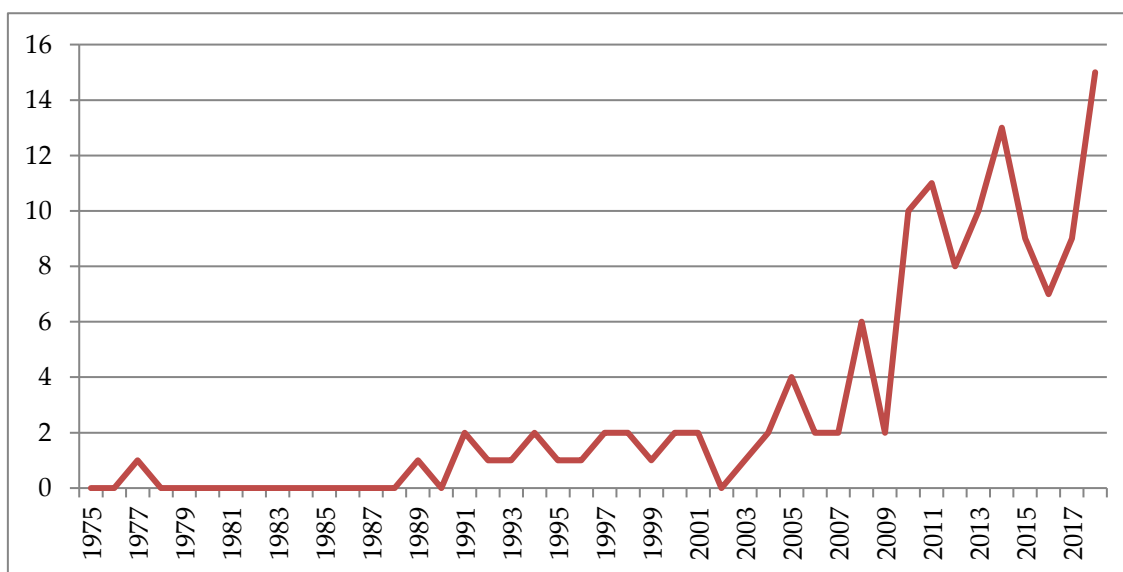
artículo 129, la modificación del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio [8]. La DMA ha supuesto un gran impulso a las prácticas de gestión y a las políticas europeas en materia de aguas, incidiendo, particularmente, en los aspectos medioambientales, por encima de los demás, estableciendo una legislación común y un marco comunitario de actuación con el propósito de detener el deterioro de las masas de agua en los países de la zona y conseguir un *“buen estado”* de los ríos, lagos y las aguas subterráneas europeas en 2015. Concretamente, pretendía la reducción de los niveles de contaminación, la protección de las aguas superficiales, subterráneas, continentales y de transición y la regeneración de los ecosistemas, bajo la premisa principal de *“quien contamina, paga”* recogida en el art. 9 de la DMA.

La Directiva 91/271/CEE y la DMA imponen el establecimiento de modelos eficaces de depuración y redes de saneamiento en los países miembros, que conduzcan las descargas de aguas residuales a las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) antes de ser vertidas o de ser reutilizadas. Asimismo, establecen que los Estados miembros deberán tener en cuenta el principio de recuperación de costes en los servicios relacionados con el agua [9, 10]. La entrada en vigor de estas normativas determinó que los distintos países miembros de la Unión Europea impulsaran la legislación estatal en la materia, suponiendo un avance en la gestión del vertido de agua residual, en las políticas de protección de los recursos hídricos, en la reducción de la contaminación dentro de cada Estado miembro [11] e implicando un incremento en el volumen de vertidos tratados y en el desarrollo de tecnologías propicias para tal fin [12].

El principio de recuperación de costes que establece la normativa europea ha justificado la creación e implementación de tributos ecológicos vinculados a las aguas residuales en los diferentes Estados miembros. Estos tienen como finalidad influir en la actuación de los agentes contaminantes y proporcionar a las administraciones competentes los recursos suficientes para sufragar actuaciones cuyo objetivo sea reducir el nivel de contaminación del agua vertida, así como la inversión en tecnologías necesarias para la depuración.

El interés de la comunidad científica por el análisis de los tributos vinculados a las aguas residuales se ve reflejado en la expansión de la literatura teórica y aplicada sobre el tema en la última década. La Figura 1 presenta un estudio bibliométrico de los artículos publicados desde 1975 hasta 2018 usando la Web of Science [13] como base de datos principal. La búsqueda de “wastewater taxes” permite identificar solamente 130 resultados, mostrando un terreno de investigación claramente por explorar. Las publicaciones se han incrementado desde el año 2010, siendo los principales países origen de estos trabajos Estados Unidos, China y España. La mayoría de estos artículos están publicados en revistas pioneras, como son *Water Science and Technology*, *Desalination*, *Journal of Cleaner Production* y *Water*.

Figura 1. Evolución de los artículos publicados sobre “wastewater taxes” en revistas científicas entre 1975 y 2018 indexadas en Web of Science.



Fuente: [13]. Elaboración propia.

Una vez expuestos algunos hechos y tendencias que justifican el uso del tributo como instrumento económico para la protección del medio natural hídrico, evitando las descargas de aguas residuales sin depurar, el objetivo de este trabajo se centra en analizar si en España se cumple el principio de recuperación de costes, tal y como establece la normativa comunitaria relativa a tratamiento y depuración de efluentes. Para ello, el contenido de esta introducción se estructura en cuatro apartados. En el apartado dos se presentan los tributos sobre vertidos de aguas residuales en los países

comunitarios, haciendo especial referencia al caso de España. En el apartado tres se exponen las hipótesis de partida y los objetivos específicos de investigación. El apartado cuarto, dedicado a materiales y métodos, detalla las fuentes de información y la metodología seguida. Finalmente, en el último apartado se recogen las principales aportaciones de los artículos que conforman esta Tesis y se presentan otras publicaciones relacionadas con la misma. Los capítulos 2, 3 y 4 de esta Tesis Doctoral muestran las publicaciones que la conforman. El capítulo 5 recoge los principales resultados de la investigación y las líneas futuras de análisis.

1.2. Tributos sobre vertidos de aguas residuales en la Unión Europea: el caso de España

1.2.1. Justificación y finalidad de los tributos

La fijación de tributos medioambientales se produce para corregir las distorsiones generadas en los sistemas de precios a causa de la aparición de externalidades negativas [14]. El deterioro de recursos naturales necesarios para la vida justifica la intervención pública [15], garantizando el bienestar general. El establecimiento de figuras fiscales que gravan la contaminación tiene como objetivo trasladar la responsabilidad a los agentes contaminantes, debiendo los mismos compensar el daño producido [16, 17]. La actuación de los gobiernos en el control de la contaminación puede realizarse a través de instrumentos de mandato-control-sanción [18] o/y tributos y permisos de descarga. La figura de mandato-control-sanción exige al regulador establecer un límite legal sobre la cantidad de contaminación permitida a cada emisor con el fin de alcanzar determinados objetivos de calidad para las aguas que reporta al dominio público hidráulico. Los tributos tienen como propósito la corrección de fallos de mercado, influyendo sobre la actuación del agente contaminante, que debe pagar por los costes ambientales. La tributación ambiental presenta importantes ventajas frente a otras formas de intervención [19].

Los ingresos públicos vinculados al agua provienen fundamentalmente de tasas e impuestos en los países de la Unión Europea [20]. Las tasas se pagan como contrapartida de la utilización privada del dominio público o por la prestación de un servicio por parte de la Administración Pública, que los ciudadanos utilizan en su propio beneficio, y su recaudación sólo se puede destinar a la financiación de dicho servicio. Los impuestos ambientales, como es el caso del canon de control de vertidos español, regulado por la Ley de Aguas, se abonan sin recibir una contraprestación directa a cambio, se establecen para corregir una externalidad negativa, independientemente de que su recaudación se destine o no posteriormente a mejoras concretas del medio natural [21]. Un tributo sobre el agua puede perseguir tres objetivos: reducir el consumo de este recurso natural y, simultáneamente, la emisión de vertidos; regular la evacuación de

efluentes, influyendo en el comportamiento de los actores contaminantes, y contribuir a financiar los gastos de inversión y explotación de las infraestructuras necesarias para el tratamiento de los mismos.

1.2.2. Problemáticas de uniformidad en los países de la Unión Europea

En la Unión Europea no existe uniformidad de criterio en la definición de “*tributos ambientales*”. Esta problemática se une a la diversidad de políticas de gestión desarrolladas por los Estados miembros en el ámbito de la fiscalidad sobre el agua, dificultando su identificación y comparación. El momento de creación también es diferente, habiéndolos establecido en 1970 Francia y los Países Bajos, Alemania en 1981 y Dinamarca en 1997. Otros Estados, como Bélgica, Italia o España los introducen posteriormente [22].

La falta de homogeneidad en los instrumentos tributarios vinculados al agua comporta la existencia de distintos niveles de responsabilidad en los países y también dentro de ellos, entre organismos con competencias heterogéneas. En conjunto, en la Unión Europea se han establecido los siguientes tipos de cargas fiscales sobre los recursos hídricos: aquellas que gravan la extracción o captación, las que recaen sobre el uso, los servicios de vertido y alcantarillado y los vinculados a la contaminación que se produce por el uso del agua, tal y como recoge la Tabla 1. Entre ellas, las que se aplican a los vertidos de efluentes son tributos de emisión clásicos, siendo uno de los primeros instrumentos económicos que se introducen en la política para la protección del medio ambiente [23].

Tabla 1. Tributos que gravan el agua en la Unión Europea.

Países	Extracción	Uso y vertidos	Contaminación
Alemania	X	X	X
Austria		X	
Bélgica	X	X	X
Bulgaria		X	X
Chipre			
Croacia	X	X	X
Dinamarca		X	X
España	X	X	X
Eslovaquia		X	X
Estonia	X	X	X
Finlandia		X	X
Francia	X	X	X
Grecia		X	
Hungría	X	X	X
Italia		X	X
Irlanda			
Latvia	X	X	X
Lituania	X	X	X
Luxemburgo	X	X	
Malta		X	
Países Bajos		X	X
Polonia	X	X	X
Portugal		X	X
Reino Unido		X	X
República Checa	X	X	X
Rumania	X	X	X
Slovenia	X	X	X
Suecia		X	X

Fuente: [24].

La información de la Tabla 1 muestra claramente la diversa gestión tributaria en materia de agua seguida en los países de la Unión Europea. En la mayoría de los casos las cargas impositivas gravan el agua en las tres vertientes representadas, extracción, uso y vertidos, y contaminación. Sin embargo, en contra de esta tendencia, existen países como Chipre e Irlanda que no aplican ninguna figura fiscal. Asimismo, no poseen

instrumento específico sobre contaminación, aparte de los tres anteriormente citados, Austria, Grecia, Luxemburgo, Malta y Portugal, aunque en todos estos países sí existen tributos específicos sobre uso y vertido de las aguas.

1.2.3. El caso de España

El texto refundido de la Ley de Aguas tiene como objeto la regulación del dominio público hidráulico, del uso del agua y del ejercicio de las competencias atribuidas al Estado en las materias relacionadas con dicho dominio. Su artículo 111.bis establece los principios generales que las administraciones públicas competentes tendrán en cuenta, en virtud del principio de recuperación de costes y valorando las proyecciones económicas a largo plazo. En este sentido, tendrán que articular los oportunos mecanismos para repercutir los costes de los servicios relacionados con la gestión del agua, incluyendo aquellos de carácter ambiental y del recurso, en los diferentes usuarios finales para incentivar un empleo adecuado del agua y alcanzar los objetivos medioambientales perseguidos. Para la aplicación de éste principio se deben considerar las consecuencias sociales, ambientales y económicas, y las condiciones geográficas y climáticas de cada territorio.

El adecuado cumplimiento de este artículo implica la utilización de distintas cargas tributarias, que quedan afectadas directa o indirectamente a la financiación de gastos de explotación, mantenimiento y gestión de las obras e instalaciones para la depuración de las aguas residuales y de aquellos relacionados con la inversión en construcciones hidráulicas, bien para la captación y distribución de aguas, bien para su tratamiento con el fin de ser devueltas en condiciones de uso y aprovechamiento a las masas de agua [23].

En el conjunto del territorio nacional las figuras tributarias vinculadas al vertido de aguas residuales son las siguientes:

a) Tasas de alcantarillado

El servicio de alcantarillado es de competencia municipal, de acuerdo con la Ley 8/1989, de 13 de abril, de Tasas y Precios Públicos, y con la Ley 7/1985, de Bases de

Régimen Local. Estas tasas tienen como hecho imponible la prestación de este servicio y, en su caso, el tratamiento y depuración de aguas residuales, de no existir exacciones vinculadas directamente al tratamiento y depuración de aguas evacuadas. Los sujetos pasivos de esta figura tributaria, en concepto de contribuyente, son las personas físicas o jurídicas, comunidades de propietarios o de bienes y demás entidades a las que se refiere el art. 33 de la Ley General Tributaria que (a) soliciten el servicio o/y (b) resulten beneficiados o afectados por el mismo.

b) Canon de control de vertidos

Este canon grava los vertidos al dominio público hidráulico para el control, protección y mejora del medio receptor de cada cuenca hidrográfica. Se encuentra regulado en el artículo 113 de la Ley de Aguas, siendo sujetos pasivos de este gravamen las personas físicas o jurídicas que lleven a cabo la evacuación, ya sea como titulares con autorización o como responsables de aquellas no autorizadas. Este tributo es independiente de los cánones de saneamiento regulados en las normativas regionales y de las tasas de alcantarillado aprobadas por las corporaciones locales. Cuando se trate de cuencas intercomunitarias este gravamen es recaudado por el organismo de cuenca o bien por la Administración Tributaria del Estado, en virtud de convenio con aquél. Asimismo, en virtud de convenio las Comunidades Autónomas podrán recaudar este tributo en su ámbito territorial.

c) Canon de saneamiento, de mejora, de depuración y tasas de saneamiento

Existen distintas denominaciones para hacer referencia a un arbitrio de carácter autonómico que tienen como propósito incentivar el uso racional del agua y gravar el vertido de aguas residuales [25], siendo el tributo ambiental más generalizado a nivel regional, al estar vigente en todas las Comunidades Autónomas, a excepción de Castilla y León. La finalidad de esta figura impositiva es doble. Por un lado, regula la evacuación de vertidos hídricos para combatir el daño que producen las emisiones contaminantes al medio ambiente y, por otro, financia los gastos de inversión y explotación de aquellas infraestructuras necesarias para el tratamiento de las aguas residuales [26].

La gestión administrativa de estas cargas fiscales es realizada habitualmente por organismos autónomos, encargados de la política de saneamiento en cada Comunidad Autónoma. En todos los casos, constituye el hecho imponible de este gravamen cualquier consumo potencial o real de agua de toda procedencia, por razón de la contaminación que pueda producir su vertido directo o a través de las redes de alcantarillado. Es por ello que el hecho imponible del tributo no es el vertido realizado, sino la disponibilidad y uso urbano de agua potable suministrada por redes de abastecimiento públicas o privadas, asumiéndose de esta forma una relación directa entre consumo y residuos vertidos. De acuerdo con lo anterior, son las empresas o entidades (públicas o privadas) que suministran el recurso hídrico las que están obligadas a facturar e ingresar la recaudación derivada, actuando como sustitutos del contribuyente y facilitando así la gestión realizada por los organismos competentes en cada Comunidad Autónoma.

La determinación de la cuota a pagar por el usuario se encuentra diferenciada en todas las Comunidades Autónomas entre uso doméstico y uso industrial incluyendo, normalmente, una cuota fija o de enganche y otra variable o de consumo. La cuota tributaria variable en el caso de uso doméstico se calcula multiplicando el agua consumida o estimada, expresada en metros cúbicos, por el precio del metro cúbico establecido en la Ley reguladora de cada tributo. En el caso de uso industrial, el cálculo de la cuota suele tener en cuenta la carga contaminante derivada del vertido al medio hídrico receptor.

d) Tributos autonómicos de vertidos al mar

Existen cuatro Comunidades Autónomas (Andalucía, Murcia, País Vasco y Comunidad Valenciana) que han establecido cánones o impuestos sobre vertidos al mar [27]. Estos se encuentran regulados por la Ley 22/88 de Costas, que establece las reglas básicas del funcionamiento de las autorizaciones de vertidos. El objetivo de estos impuestos es gravar la carga contaminante de los vertidos autorizados al litoral, estando destinados a compensar los costes de inversión en las actuaciones que lleven a cabo la administración autonómica para garantizar el buen estado químico y ecológico de las

aguas litorales. La base imponible de estos tributos está sujeta a la carga contaminante contenida en el vertido, teniendo en cuenta la materia en suspensión y la demanda química de oxígeno.

1.3. Objetivo e hipótesis

Los puntos de partida aceptados al iniciar esta investigación son los siguientes:

- c) El cumplimiento de la Directiva 91/271/CEE y la DMA, que obligan a depurar las aguas vertidas en centros urbanos y establecen el principio de recuperación de costes.
- d) La aplicación en España de diferentes tributos vinculados al vertido de aguas residuales, por parte de los organismos de cuenca, las autoridades regionales y locales.

Considerando las anteriores premisas la hipótesis a contrastar sería la siguiente:

H1. En España, los tributos vinculados al vertido de aguas residuales urbanas permiten financiar los costes del servicio de depuración, cumpliendo con el principio “quien contamina paga” y contribuyen a financiar la reutilización.

Las hipótesis instrumentales que se derivan de la anterior son las siguientes:

H1.1 España mantiene una presión fiscal sobre las aguas residuales similar a la de otros países de la Unión Europea.

H1.2 Las cargas tributarias sobre aguas residuales aplicadas en las regiones españolas permiten financiar los costes de depuración.

H1.3. Los ingresos tributarios vinculados a las aguas residuales urbanas condicionan la reutilización de las aguas residuales servidas.

La secuencia lógica de los temas a tratar sería la siguiente:

- 2. Estudio de la presión fiscal sobre aguas residuales en los países de la Unión Europea:
 - c) Análisis de la situación que presentan los países de la Unión Europea.
 - d) Factores que determinan la presión fiscal sobre aguas residuales.

3. Análisis de los ingresos públicos recaudados en las distintas regiones españolas y destinados a financiar el servicio de depuración de aguas:
 - c) Estudio de la situación que presentan las distintas regiones españolas.
 - d) Recuperación de costes de depuración en las regiones.

4. La reutilización de las aguas residuales en España:
 - c) Situación que presentan las regiones españolas.
 - d) Investigar si los ingresos tributarios vinculados a las aguas vertidas contribuyen a financiar la reutilización.

Esta Tesis Doctoral pretende realizar un estudio comparado de la presión fiscal sobre aguas residuales en España y en relación a los países de nuestro entorno, analizar el nivel de cumplimiento del principio de recuperación de costes que sobre las aguas vertidas impone la normativa comunitaria y comprobar su capacidad para propiciar la reutilización de las aguas servidas. Ante todo, se trata de obtener conclusiones que contribuyan a la escasa literatura científica que existe sobre este tema, particularmente en España, y obtener argumentos válidos que permitan orientar adecuadamente las actuaciones de las instituciones nacionales, regionales y locales en favor de la protección del entorno natural hídrico.

1.4. Materiales y métodos

Para la consecución de los objetivos anteriormente planteados se ha utilizado información secundaria, publicada por instituciones internacionales y nacionales. Los datos sobre los países de la Unión Europea referidos a ingresos tributarios proceden de la OCDE. La presión fiscal sobre las descargas de aguas residuales se aproxima por los tributos recaudados y se define como la relación entre la carga fiscal impuesta y la base imponible que la genera [28]. Esta variable incluye los ingresos cobrados a través de ecotasas y no los ingresos recaudados por tarifas pagadas por la extracción, suministro, saneamiento y servicios de tratamiento. También provienen de la OCDE la información estadística relativa a la variable gasto en protección de los recursos hídricos, definida como el gasto per cápita en medio ambiente en dólares y en paridad de poder adquisitivo, y la variable peso de los tributos medioambientales en la estructura tributaria del país, que cuantifica la participación de los ingresos fiscales por tributos ambientales en el total.

Otras variables utilizadas son: el estado de salud medioambiental del agua, aproximada por el Índice de Desempeño Ambiental del agua, obtenido de la web de la Universidad de Yale; las descargas de agua per cápita, como el volumen de agua residual vertida en metros cúbicos, por habitante y año, que procede de la base de datos AQUASTAT de la ONU; el Índice de Desarrollo Humano, indicador del nivel de desarrollo socioeconómico de los países, siendo la fuente el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (UNPD); la implementación de la DMA, variable dummy que marca el año de comienzo de entrada en vigor de esta norma, obtenida a partir de la Directiva 2000/60/CE. El apoyo a las fuerzas políticas verdes, variable categórica, se configura a partir de los escaños obtenidos por partidos verdes en el Parlamento Europeo en los años 1999, 2004 y 2009, y se obtiene de la web del Parlamento Europeo.

El análisis de la situación que presentan las distintas regiones españolas en relación a ingresos recaudados por saneamiento y depuración en España ha sido realizado a partir de la información que sobre los mismos ofrece el INE. Son valores medios para cada región e incluyen los montantes cobrados a los usuarios por lo

siguiente: a) servicio de alcantarillado, b) tratamiento de aguas residuales, y c) tributos ecológicos cobrados por diferentes instituciones, incluyendo estos últimos la tarifa de saneamiento establecida por la autoridad regional pertinente para cubrir la construcción y el mantenimiento de las EDARs. También se consideran los tributos por la descarga de aguas residuales tratadas en los Recursos Hídricos Públicos (control de descarga), la tarifa establecida por las Confederaciones Hidrográficas o, si corresponde, la tarifa de alta establecida por las Comunidades Autónomas. Del total recaudado, se considera que el 50% se destina a financiar los tratamientos [29].

Los costes de depuración por tipo de tratamiento se obtienen a partir de los resultados de diferentes estudios empíricos, realizados en diferentes años y países, publicados en artículos científicos [5, 30-38]. Se calcula la media anual del coste de operación, mantenimiento e inversión (amortizaciones) en una EDAR, considerando los tres tratamientos secundarios más utilizados y algunos tratamientos terciarios específicos. En todos los casos, los costes utilizados corresponden a los de las aguas residuales urbanas. Para poder realizar la comparación, las variables se cuantifican en unidades estandarizadas, con los valores presentados en euros. Para ello, se aplica el tipo de cambio oficial entre la moneda correspondiente y el euro en el año de la investigación empírica de la fuente. Asimismo, todos los datos sobre costes fueron actualizados a 2014, utilizando el Índice de Precios al Consumo del INE.

Del INE proceden, asimismo, la información por regiones sobre volumen de agua residual reutilizada, agua suministrada y agua disponible, agua superficial, subterránea y desalada utilizada en el sector agrícola, población e ingresos recaudados por saneamiento y depuración, expresados en euros por metro cúbico. Las variables producción agrícola, definida a partir de la producción vegetal, y área de riego, correspondiente a las hectáreas de tierra irrigada con respecto al total de cultivo, tienen como fuente el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPAMA).

En el desarrollo de la investigación se emplean diversas técnicas estadísticas y econométricas para cumplir los objetivos propuestos. Aunque cada uno de los siguientes capítulos tiene una sección en la que se detalla de forma explícita la metodología

utilizada, en el siguiente párrafo se expone un resumen de las principales características de la metodología general.

Debido a la naturaleza de los datos utilizados en cada artículo, la principal técnica econométrica ha sido los datos de panel. Este método es el idóneo para resolver nuestras preguntas de investigación, teniendo en cuenta las características de los datos, ya que combinan una dimensión temporal con otra transversal. La utilización de datos de panel posee múltiples ventajas, como son la disposición de un mayor número de observaciones, incrementando los grados de libertad, reduciendo la colinealidad entre las variables explicativas y mejorando la eficiencia de las estimaciones econométricas; captura la heterogeneidad no observable tanto entre unidades individuales de estudio como en el tiempo; estudia de una mejor manera la dinámica de los procesos de ajuste; y permite elaborar y probar modelos relativamente complejos de comportamiento en comparación con los análisis de series de tiempo y de corte transversal.

1.5. Contribución de los artículos

Esta revisión introduce los estudios incluidos en esta Tesis Doctoral resumiendo los objetivos y propósitos de cada uno de los trabajos.

1.5.1. Relación de publicaciones

Artículo nº 1	“The tax burden on wastewater and the protection of water ecosystems in EU countries”
Autores	L. Gallego-Valero, E. Moral-Pajares, I.M. Román-Sánchez
Revista	<i>Sustainability</i>
Volumen, nº	10(1), 212
Clasificación JCR	Environmental Studies (Q2)
Índice de impacto	2.075 (Q2)
DOI	10.3390/su10010212

Artículo nº 2	“Analysis of environmental taxes to finance wastewater treatment in Spain: an opportunity for regeneration?”
Autores	L. Gallego-Valero, E. Moral-Pajares, I.M. Román-Sánchez, J.A. Sánchez-Pérez
Revista	<i>Water</i>
Volumen, nº	10(2), 226
Clasificación JCR	Water Resources (Q2)
Índice de impacto	2.069 (2017)
DOI	10.3390/w10020226

Artículo nº 3 “Crop production and irrigation: deciding factors of wastewater reuse in Spain?”	
Autores	L. Gallego-Valero, E. Moral-Pajares, I.M. Román-Sánchez
Revista	<i>Desalination and Water Treatment</i>
Volumen, nº	150 (2019) 91-98
Clasificación JCR	Water Resources (Q3)
Índice de impacto	1.383 (2017)
DOI	10.5004/dwt.2019.23618

1.5.2. The tax burden on wastewater and the protection of water ecosystems in EU countries.

El impacto negativo de las aguas residuales no tratadas sobre la salud, la economía y el medio ambiente justifica la necesidad de investigar sobre los distintos aspectos que conforman este tema. La finalidad de este primer estudio es doble. En primer lugar, realizar un análisis comparativo de la importancia relativa de las cargas tributarias sobre la evacuación de aguas residuales como instrumento de prevención o reducción de la contaminación en la fuente en diferentes países de la Unión Europea entre 2000 y 2013. En segundo término, a partir de los argumentos que se derivan de la literatura revisada, se pretende conocer la posible vinculación de la presión fiscal sobre vertidos con la calidad de los ecosistemas acuáticos y distintas variables de carácter económico e institucional.

El nivel de desarrollo socioeconómico de los países, las preferencias de sus ciudadanos, el tipo de estructura fiscal que mantienen, la sensibilidad de los gobernantes hacia la protección del medio ambiente son, entre otros, condicionantes de los ecotributos sobre los vertidos que se aplican en una economía nacional. Concretamente, se investiga si existe relación entre la carga tributaria que recae sobre las aguas servidas en un conjunto de países de la Unión Europea y el índice de desempeño medioambiental

del agua, el volumen per cápita de aguas residuales vertidas, el gasto corriente que el sector público destina a financiar actuaciones en beneficio del medio ambiente, el peso de los tributos ambientales en la estructura impositiva del país, el nivel de desarrollo económico y social de las economías nacionales, los compromisos asumidos por el Estado a nivel supranacional en favor de la protección de los recursos hídricos y el respaldo social a los partidos verdes. Ante todo, se pretenden contribuir a la literatura empírica sobre el tema y obtener argumentos válidos que permitan orientar las actuaciones tanto de los individuos como de los organismos responsables de la gestión de aguas residuales en favor de la protección de los recursos hídricos.

1.5.3. Analysis of environmental taxes to finance wastewater treatment in Spain: an opportunity for regeneration?

El capítulo 3 tiene como objetivo realizar un análisis comparado de los ingresos recaudados en las distintas regiones de España, a partir de las figuras tributarias vinculadas al vertido de aguas residuales, para financiar los tratamientos secundarios, cuya obligatoriedad está determinada por las Directivas 91/271/CEE y DMA, y terciarios, imprescindibles para la conservación del medio ambiente y, en su caso, la regeneración y reutilización de las aguas, a fin de reducir el importante déficit hídrico de este país. Para ello, se consideran los costes por metro cúbico de agua depurada estimados en diferentes investigaciones empíricas, cuyos resultados han sido publicados en revistas científicas. Conviene tener en cuenta que en función del tratamiento terciario aplicado se identifican dos posibles propósitos: medioambiental, a partir de la eliminación de microcontaminantes; y de reutilización, a través de tratamientos de desinfección.

La aspiración de esta investigación no es conocer la eficiencia económica de la gestión del sistema de depuración de aguas residuales en España en 2014. Muy al contrario, empleando los últimos datos estadísticos publicados por el INE sobre importes recaudados por alcantarillado y depuración, que son de dicho año, se evalúa la efectividad de un esquema tributario vinculado a las aguas vertidas que se mantiene constante en el tiempo, sólo actualizado anualmente por el índice de precios al consumo. Un sistema, controlado en su mayor parte por políticos locales, que en muchos casos

actúan sin racionalidad económica, y que resulta en muchos casos deficiente. El análisis empírico desarrollado tiene como empeño poner de manifiesto la inconsistencia de una práctica, poco transparente para la población en general, que está generando situaciones irracionales, como el hecho de que en un municipio exista una EDAR, financiada con recursos que proceden de instituciones regionales y/o estatales, que no está en funcionamiento porque no se recauda lo suficiente como para poder cubrir los gastos de explotación de la misma.

1.5.4. Crop production and irrigation: deciding factors of wastewater reuse in Spain?

Los procesos de reutilización del agua residual se han configurado como una herramienta indispensable para conseguir que aumente el recurso disponible, como fuente alternativa de abastecimiento, económica y segura desde el punto de vista sanitario y ambiental [39-41], que favorece el incremento de la oferta y crea una menor dependencia de las fuentes subterráneas y superficiales [42, 43]. Además, hay que destacar la importancia del consumo de agua para riego de cultivos y paisajes, que supone un 70% del agua dulce extraída del planeta [2, 44, 45], convirtiéndose el uso de agua regenerada para regadíos en una relevante opción para liberar recursos [46], práctica implementada en muchos países [47, 48].

En España, la escasez natural de recursos hídricos, agravada en épocas de sequía, ha supuesto un hecho permanente en el litoral mediterráneo español desde los años 50, incrementado además por el crecimiento de la población y la demanda de agua de los diferentes procesos productivos [49]. El factor territorial es un gran condicionante, ya que la cuestión se plantea en un país eminentemente agrario y con un alto índice de estrés hídrico, con niveles del 40% al 80% de escasez de agua con respecto a su demanda, en comparación con el resto del mundo [50]. Una situación que explica que en gran parte del territorio español, necesitado de recursos hídricos, el uso de agua reutilizada se presente como una oportunidad para liberar recursos convencionales. De hecho, a partir del año 2000, en determinadas regiones, el uso del agua reutilizada ha tenido una tendencia creciente, influida por las mejores condiciones de los efluentes vertidos, a partir de la entrada en vigor de la normativa comunitaria. La reutilización favorece el incremento de la oferta, cuestión importante en un país con grandes necesidades hídricas

vinculadas a su sistema productivo y, muy concretamente, a la producción agrícola, y especialmente en determinadas zonas, como es el caso de Andalucía [49, 51-54].

El objetivo de este trabajo consiste en estudiar el estado actual del agua reutilizada en España y sus distintas Comunidades Autónomas, a partir de los últimos datos disponibles, y en analizar la influencia de determinados factores en la evolución del volumen de la misma. Concretamente, se trata de comprobar si está condicionada por los ingresos públicos asociados a saneamiento y depuración cobrados en cada región, que permiten financiar sistemas de regeneración de las aguas servidas, junto con otras que propone la literatura empírica revisada, como son la producción agrícola, la superficie de regadío, la relativa escasez de recursos hídricos, la disponibilidad de agua superficial, agua subterránea, agua desalinizada y la población. Este estudio establece una dependencia por parte de la reutilización de aguas de los ingresos cobrados por depuración, así como de otros factores analizados. Se estima un modelo de datos de panel con una muestra de 187 observaciones de 17 regiones españolas entre 2004 y 2014.

1.5.5. Otras publicaciones relacionadas con la tesis

1.5.5.1. Artículos, libros y capítulos de libro

1. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. Tributación sobre aguas residuales en la Unión Europea: el caso de España. In *Agua y ecología política en España y México*; Torres-Rodríguez, A., Moral-Pajares, E. (coords); UJA Editorial y Universidad de Guadalajara: Jaén, Spain, 2018.
2. Moral-Pajares, E.; Gallego-Valero, L.; Román-Sánchez, I. M. Cost of urban wastewater treatment and ecotaxes: evidence from municipalities in Southern Europe. *Water* **2019**, 11(3), 423.
3. Moral-Pajares, E.; Gallego-Valero, L.; Román-Sánchez, I.M.; Sánchez-Pérez, J.A. *Protección del medio ambiente y vertido de aguas residuales: análisis de la gestión del proceso de depuración de los efluentes hídricos urbanos en la provincia de Jaén*. Premio de Investigación Agraria y Medioambiental 2018. Instituto de Estudios Giennenses, Jaén, 2019 (en publicación).

4. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. Protección del medio natural hídrico y tasas por depuración de aguas residuales: el caso de la provincia de Jaén. *Boletín del Instituto de Estudios Giennenses*, **2019** (en publicación).

1.5.5.2. Congresos

1. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. El agua: una aproximación al análisis impositivo y a los costes de las tecnologías de depuración. *XVIII Reunión Economía Mundial*. Alcalá de Henares, España, 2016.
2. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. El potencial de la imposición ambiental para la adecuada gestión del agua. *ASEPELT*, Valencia, 2016.
3. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. Análisis comparativo de la política autonómica de gestión del agua: saneamiento y depuración. *ASEPELT*, Valencia, 2016.
4. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. Tratamiento y reutilización de las aguas residuales en España (2000-2014): Estado de la cuestión. *IV Encuentro de Especialización para la Investigación en Economía, Empresa y Derecho*, Almería, 2016.
5. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. La Directiva Marco del Agua como determinante del proceso de depuración y saneamiento en España. *Seminario Internacional "Experiencias locales en la creación de empresas: España y América Latina"*, Jaén, 2017.
6. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. Tributos y aguas residuales en países de la Unión Europea. *XIX Reunión de Economía Mundial*, Huelva, 2017.
7. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. Wastewater reuse: analysis of determinig factors in Spain. *ASEPELT*, Lisbon, 2017.

8. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. ¿La producción agraria determina la utilización de aguas regeneradas en España? *XI Congreso de la Asociación Española de Economía Agraria*, Elche y Orihuela, 2017.
9. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. La UE y la protección de los recursos hídricos del territorio. El caso de España. *XXXII Encuentro Arethuse*, Jaén, 2017.
10. Gallego-Valero, L.; Moral-Pajares, E.; Román-Sánchez, I.M. Determinantes del esfuerzo fiscal sobre aguas residuales en países de la UE: Una aproximación con datos de panel. *XX Reunión de Economía Mundial*, Almería, 2018.

Referencias

1. Raschid-Sally, L., Jayakody, P. *Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries: Results from a global assessment*; International Water Management Institute: Colombo, Sri Lanka, 2009.
2. UNESCO. *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2017. Aguas residuales, el recurso desaprovechado*; UNESCO: Paris, France, 2017.
3. PNUMA. Economic Valuation of Wastewater - The Cost of Action and the Cost of No Action. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Available online:
<http://unep.org/gpa/Documents/GWI/Wastewater%20Evaluation%20Report%20Main.pdf>, 2015.
4. Collins, R.; Kristensen, P.; Thyssen, N. *Water Resources across Europe – Confronting Water Scarcity and Drought*; European Environmental Agency (EEA Report series. N. 2/2009): Copenhagen, Denmark, 2009.
5. Molinos-Senante, M.; Hernández-Sancho, F.; Sala-Garrido, R. Economic feasibility study for wastewater treatment: A cost–benefit analysis. *Science of the Total Environment* **2010**, *408*, 4396–4402.
6. Schewe, J.; Heinke, J.; Gerten, D.; Haddeland, I.; Arnell, N. W.; Clarke, D. B.; Dankers, R.; Eisner, S.; Fekete, B.M.; Colón-González, F. J.; Gosling, S. N.; Kim, H.; Li, X.; Masakim, Y.; Portmann, F. T.; Satoh, Y.; Stacke, T.; Tang, Q.; Wada, Y.; Wissers, D.; Albrecht, T.; Frieler, K.; Piontek, F.; Warszawski, L.; Kabat, P. Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2014**, *111*(9), 3245-3250.
7. Pedro-Monzón, M.; Solera, A.; Ferrer, J. Estrela, T.; Paredes-Arquiola, J. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal of Hydrology* **2015**, *527*, 482-493.
8. Molinos-Senante, M., Sala-Garrido, R., Hernández-Sancho, F. Marco jurídico del saneamiento y tratamiento de aguas residuales: evolución en el derecho comunitario estatal y autonómico. *Medio Ambiente y Derecho: Revista electrónica de Derecho*

- Ambiental* **2013** (23). Available online: http://huespedes.cica.es/gimadus/23/05_marco_juridico_del_saneamiento.html
9. González, F.; Prado, A.J. La Imposición Ambiental Autonómica. In *La Financiación de las Comunidades Autónomas: Políticas Tributarias y Solidaridad Interterritorial*; Bosch, N., Durán, J.M., Eds; Edicions i Publicacions de la Universitat de Barcelona: Barcelona, Spain, 2005.
 10. Berbel, J.; Expósito, A. Análisis del coste del servicio de abastecimiento urbano de agua en la demarcación del Guadalquivir. *Revista de Estudios Regionales* **2006**, 76, 161-183.
 11. Filipović S.; Golušin M. Environmental taxation policy in the EU–new methodology approach. *Journal of Cleaner Production* **2015**, 88, 308-317.
 12. Castellet, L.; Molinos-Senante, M. Efficiency assessment of wastewater treatment plants: A data envelopment analysis approach integrating technical, economic, and environmental issues. *Journal of Environmental Management* **2016**, 167, 160-166.
 13. Web of Science. Available online: <http://wos.fecyt.es/>
 14. Pigou, A. *The Economics of Welfare*. Available online: <http://www.econlib.org/library/NPDBooks/Pigou/pgEW0.html>, 1920.
 15. Lozano, B. La nueva etiqueta ecológica de la Unión Europea. *Revista Interdisciplinar de Gestión Ambiental* **2001**, 330, 25-34.
 16. Gago, A.; Labandeira, X., Picos, F., Rodríguez, M. La imposición ambiental como opción para España. *Papeles de Economía Española* **2014**, 139, 142-152.
 17. Baumol, W.; Oates, W. *The theory of environmental policy*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1988.
 18. Panayotou, T. *Instruments of Change: Motivating and Financing Sustainable Development*; Routledge: London, UK, 2013.
 19. Barbier, E.B.; Markandya, A. *A New Blueprint for a Green Economy*; Routledge: London, UK, 2013.
 20. Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD). *Towards Green Growth? Tracking Progress*; Organization for Economic Co-Operation and Development: Paris, France, 2015.

21. Riera, P. *Manual de Economía Ambiental y de los Recursos Naturales*; Paraninfo: Madrid, Spain, 2005.
22. Rahola, G.; Muñoz Requena, A.; Ruaix Prat, T. El coste del vertido industrial en varias Comunidades Autónomas españolas y en algunos territorios europeos. Los cánones y tasas de depuración, *Tecnología del Agua* **2009**, 311, 61-71.
23. Zárata, A.; Valles, J.; Trueba, C. Descentralización fiscal y tributación ambiental: el caso del agua en España. *Instituto de Estudios Fiscales* **2007**. Available online: http://www.ief.es/documentos/recursos/publicaciones/papeles_trabajo/2007_24.pdf
24. OECD/EEA. Database on Instruments Used for Environmental Policy and Natural Resources Management. Available online: <http://www2.oecd.org/ecoinst/queries/>
25. Román-Sánchez, I.M.; Carra, I.; Sánchez-Pérez, J.A. Promoting environmental technology using sanitary tax: the case of agro-food industrial wastewater in Spain. *Environmental Engineering Management Journal* **2014**, 13, 961–969.
26. Magadán, M. Imposición verde y financiación autonómica. Evolución y estructura territorial. *Economía Industrial* **2009**, 371, 155-167.
27. Trejo, Y. C. y Ome, A. La fiscalidad de las aguas en el sistema tributario español. *Revista Direito e Desenvolvimento* **2013**, 4(8), 245-291.
28. García, M.D.; Torgler, B. Impuestos y protección medioambiental: preferencias individuales en Europa. *Revista de Economía Aplicada* **2010**, 18, 107–132.
29. MAPAMA. Anejo IX. 2013. *Recuperación de costes de los servicios del agua. Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente*. Available online: https://www.chminosil.es/phocadownload/documentos/file/plan_hidrologico/00-Anejos/A09-Recuperacion-de-costes/A09_Recuperacion_Costes.pdf. Spanish, 2017.
30. Bode, H.; Grünebaum, T. The cost of municipal sewage treatment—structure, origin, minimization—methods of fair cost comparison and allocation. *Water Science and Technology* **2000**, 41(9), 289-298.
31. De la Cruz, N.; Esquiús, L.; Grandjean, D.; Magnet, A.; Tungler, A.; De Alencastro, L. F.; Pulgarín, C. Degradation of emergent contaminants by UV, UV/H₂O₂ and neutral photo-Fenton at pilot scale in a domestic wastewater treatment plant. *Water Research* **2013**, 47(15), 5836-5845.

32. Friedler, E.; Pisanty, E. Effects of design flow and treatment level on construction and operation costs of municipal wastewater treatment plants and their implications on policy making. *Water Research* **2006**, *40*(20), 3751-3758.
33. Gómez, M.; Plaza, F.; Garralón, G.; Pérez, J.; Gómez, M. A. A comparative study of tertiary wastewater treatment by physico-chemical-UV process and macrofiltration-ultrafiltration technologies. *Desalination* **2007**, *202*(1-3), 369-376.
34. Hernández-Sancho, F.; Molinos-Senante, M.; Sala-Garrido, R. Cost modelling for wastewater treatment processes. *Desalination* **2011**, *268*, 1-5.
35. Molinos-Senante, M.; Hernández-Sancho, F.; Sala-Garrido, R. Cost-benefit analysis of water-reuse projects for environmental purposes: A case study for Spanish wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management* **2011**, *92*, 3091-3097.
36. Prieto-Rodríguez, L.; Oller, I.; Klamerth, N.; Agüera, A.; Rodríguez, E. M.; Malato, S. Application of solar AOPs and ozonation for elimination of micropollutants in municipal wastewater treatment plant effluents. *Water Research* **2013**, *47*(4), 1521-1528.
37. Theregowda, R.; Hsieh, M. K.; Walker, M. E.; Landis, A. E.; Abbasian, J.; Vidic, R.; Dzombak, D. A. Life cycle costs to treat secondary municipal wastewater for reuse in cooling systems. *Journal of Water Reuse and Desalination* **2013**, *3*(3), 224-238.
38. Zhuang, Y.; Ren, H.; Geng, J.; Zhang, Y.; Zhang, Y.; Ding, L.; Xu, K. Inactivation of antibiotic resistance genes in municipal wastewater by chlorination, ultraviolet, and ozonation disinfection. *Environmental Science and Pollution Research* **2015**, *22*(9), 7037-7044.
39. Angelakis, A.N.; Snyder, S.A. Wastewater Treatment and Reuse: Past, Present, and Future. *Water* **2015**, 4887-4895.
40. Melgarejo, J. Efectos ambientales y económicos de la reutilización del agua en España. *Cim.Economía* **2009**, *15*, 245-270.
41. Lazarova, V.; Levine, B.; Sack, J.; Cirelli, G.; Jeffrey, P.; Muntau, H.; Brissaud, F. Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries. *Water Science & Technology* **2001**, *43*(10), 25-33.

42. Ruiz-Rosa, I.; García-Rodríguez, F.J.; Mendoza-Jiménez, J. Development and application of a cost management model for wastewater treatment and reuse processes. *Journal of Cleaner Production* **2016**, *113*, 299-310.
43. Gharbia, S.S.; Aish, A.; Abushbak, T.; Qishawi, G.; Al-Shawa, I.; Gharbia, A.; Pilla, F. Evaluation of wastewater post-treatment options for reuse purposes in the agricultural sector under rural development conditions. *Journal of Water Process Engineering* **2016**, *9*, 111-122.
44. FAO. *Water reuse in agriculture: benefits for all?*, Food and Agriculture; Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2013.
45. World Bank, *Improving Wastewater Use in Agriculture: An Emerging Priority*. Available online: https://www.researchgate.net/publication/46443890_Improving_Wastewater_Use_in_Agriculture_An_Emerging_Priority, 2010.
46. FAO. *FAO Statistical Yearbook 2013, World Food and Agriculture*; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2013.
47. Al-Mashaqbeh, O.A.; Ghrair, A.M.; Megdal, S.B. Grey water reuse for agricultural purposes in the Jordan Valley: Household survey results in Deir Alla, *Water* **2012**, *4*, 580-596.
48. Becerra-Castro, C.; Lopes, A.R.; Vaz-Moreira, I.; Silva, E.F.; Manaia, C.M.; Nunes, O.C. Wastewater reuse in irrigation: a microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environmental International* **2015**, *75*, 117-135.
49. Olcina, J.; Moltó, E. Recursos de agua no convencionales en España: Estado de la cuestión, 2010. *Investigaciones Geográficas* **2010**, *51*, 131-163.
50. World Resources Institute. *Water Stress by Country*. Available online: <http://www.wri.org/resources/charts-graphs/water-stress-country>, 2017.
51. Martín-Ortega, J.; Gutiérrez, M.; Berbel-Vecino, J. Caracterización de los usos del agua en la demarcación del Guadalquivir en aplicación de la Directiva Marco del Agua. *Revista de Estudios Regionales* **2008**, *81*, 45-76.
52. Martín-Ortega, J. Análisis estratégico del sector hídrico en Andalucía. *Revista de Estudios Regionales* **2011**, *92*, 147-172.

53. Molinos-Senante, M.; Hernández-Sancho, F.; Sala-Garrido, R. Estado actual y evolución del saneamiento y la depuración de aguas residuales en el contexto nacional e internacional. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* **2012**, 32(1), 69-89.
54. Salgot, M.; Folch, M. Reutilización de aguas residuales. In *Aguas continentales. Gestión de recursos hídricos, tratamiento y calidad del agua*; Barceló, D., Ed; Consejo Superior de Investigaciones Científicas: Madrid, Spain, 2008.

APPENDIX B

CONCLUSIONES

5.1. Consideraciones finales

El vertido de aguas servidas sin tratar provoca la contaminación de las corrientes de aguas superficiales (ríos, lagos y mares) y subterráneas (acuíferos), con importantes efectos directos sobre el medio natural. No disponer de plantas de tratamiento para las aguas de desecho de los centros urbanos hace que las masas de agua receptoras pierdan sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas afectando directamente a la flora y la fauna, e indirectamente a la salud humana. Los efectos de una inadecuada gestión de los residuos hídricos son inmediatos sobre el medio natural acuático y, a medio plazo, tienen su repercusión sobre el bienestar de las sociedades y los medios de subsistencia. Hoy por hoy, proteger y conservar los ecosistemas hídricos es un propósito prioritario de instituciones supranacionales como la ONU, la OCDE o la Unión Europea.

En la Unión Europea, la Directiva 91/271/CE y la DMA establecen la obligación de depurar las aguas vertidas en centros urbanos, de acuerdo con el principio de recuperación de costes. Esta Tesis Doctoral se centra en estudiar los ecotributos que gravan los vertidos de aguas residuales en España, intentando contribuir a la explicación de distintos interrogantes surgidos en el nuevo escenario de gestión de este tema. La delimitación de este estudio se conforma a partir de una serie de cuestiones concretas que cobran importancia en los últimos años, como son la diversidad de instrumentos tributarios vinculados a las aguas residuales, la realidad que presenta España con respecto a otros países de su entorno, la heterogeneidad que registran las regiones españolas, la efectividad de los mismos para financiar tratamientos de regeneración y reutilización, el uso de las aguas residuales como recurso hídrico, etc.

La revisión de la literatura y la investigación desarrollada en las páginas precedentes han permitido contrastar las hipótesis planteadas en el capítulo primero, llegando a las conclusiones que a continuación se detallan, de acuerdo con los aspectos abordados en cada uno de los artículos presentados. Primero, se explora la presión fiscal en la Unión Europea de las aguas residuales y su dependencia de distintas variables. A continuación, se analiza la efectividad de los ecotributos sobre aguas vertidas para la financiación de los costes de los tratamientos de depuración. Por último, se comprueba si los ingresos tributarios sobre efluentes vertidos cobrados en las distintas regiones

españolas están relacionados, junto con otras variables, con el volumen de aguas residuales reutilizadas.

El primer artículo (capítulo 2) constata la disparidad en la Unión Europea del uso de ecotributos sobre el agua y las aguas residuales y verifica la relación entre la presión fiscal sobre las aguas vertidas y siete variables influyentes, que fueron previamente identificadas en la literatura. Mientras los estudios existentes analizan los diferentes instrumentos impositivos para el control de la contaminación medioambiental, este artículo contribuye aportando específicamente el vínculo de diferentes factores con la presión fiscal sobre los efluentes hídricos. Basado en una exploración bibliográfica previa, se especifica un modelo con 7 variables dependientes, referidas a 13 países miembros de la Unión Europea. La investigación se centra en realizar un análisis comparativo del impacto relativo de los tributos sobre las descargas de aguas residuales como instrumento para prevenir o reducir la contaminación en la fuente, así como en identificar vínculos, para el período 2000-2013.

Los resultados obtenidos muestran el incremento en los últimos años de los ingresos fiscales provenientes del agua y aguas residuales en los trece países considerados en el análisis, fruto de una constante preocupación por el tema. Entre 2000 y 2013, el monto total recaudado por tributos para prevenir o reducir la contaminación, en términos de carga de contaminación y/o volumen de aguas residuales producidas, muestra una tasa de crecimiento anual promedio acumulada de 4,83%, con variaciones anuales de más del 20% en 2003 y 2008. Como resultado, el valor total de estos ingresos fiscales son 1,84 veces mayores al final de este período de 13 años. Esta evolución no refleja una estrategia fiscal homogénea en los países estudiados, puesto que mientras que Bélgica registra una reducción del 55,84% en los ingresos derivados de los ecotributos sobre el agua y las aguas residuales, España reporta un aumento de cinco veces. En 2013, la mayor carga fiscal la tienen los Países Bajos, recaudando unos ingresos fiscales de 0,96 \$ por cada metro cúbico de aguas residuales descargadas. Le siguen Francia, Eslovenia, Dinamarca, Hungría y Bélgica. Todos los demás países tienen una carga fiscal muy baja, por debajo de 0,1 \$/m³.

El análisis de datos de panel confirma las hipótesis planteadas, concluyendo que las variables estado de salud ambiental del agua e Índice de Desarrollo Humano tienen una significación del 1%, confirmando su relación positiva con la carga fiscal sobre las descargas de aguas residuales, presentando el mayor efecto porcentual y siendo las más influyentes. También queda confirmada la relación inversa entre la descarga de aguas residuales y la presión fiscal, ratificando la efectividad de los instrumentos fiscales como mecanismo para garantizar mejores condiciones ambientales, quedando también demostrado el apoyo público de los partidos verdes y el peso de los impuestos ambientales en la estructura tributaria nacional, así como el gasto público per cápita en protección ambiental, los cuales muestran una relación directa con la presión fiscal sobre aguas residuales. La entrada en vigor de la DMA, sin embargo, no muestra significación.

Los hallazgos obtenidos sugieren la necesidad de que se utilicen instrumentos tributarios para evitar acciones que perjudican el medio ambiente. Ante todo, es necesario promover el crecimiento económico y proteger al mismo tiempo los recursos naturales, para la consecución tanto de una mejora en la calidad de vida como en la productividad. Esta primera investigación tiene como principal limitación la disponibilidad de datos. En este estudio preliminar, la mayor dificultad ha sido la obtención de información homogénea para las variables analizadas. Teniendo en cuenta lo anterior, el análisis podría ampliarse en gran medida a partir del momento en que existan bases de datos completas sobre los distintos factores, en todos los países de la Unión Europea. Además, podría ampliarse el ámbito territorial de análisis, incluyendo los países de la OCDE, cuando existan datos completos sobre los mismos.

El segundo artículo (capítulo 3) analiza la capacidad de los tributos sobre aguas residuales para financiar los costes de tratamiento. Los estudios previos se encargan, principalmente, de cuantificar el coste de tratamientos concretos, la mayoría aún en situación experimental, existiendo antecedentes que realizan estudios de viabilidad para regiones concretas. Este trabajo se centra en analizar la capacidad de financiación existente en las diferentes regiones del territorio español, abarcando distintos tratamientos, tanto secundarios como terciarios. Se evalúa el grado de cumplimiento de la normativa comunitaria, comprobando si es posible sufragar los tratamientos

secundarios, obligatorios según las Directivas 91/271/CEE y DMA, y los tratamientos terciarios, esenciales para la conservación del medio ambiente y, en su caso, para la reutilización del agua.

Los resultados obtenidos muestran la gran heterogeneidad de cuantías recaudadas por los tributos vinculados a las aguas vertidas en las diferentes regiones españolas, a pesar de existir una legislación general común. El promedio para España es de 0,72 €/m³, que es inferior a la cantidad recaudada en las Comunidades de Andalucía, Aragón, Asturias, Islas Baleares, Cantabria, Cataluña, Comunidad Valenciana, Comunidad de Madrid, Murcia y País Vasco. En cuanto a la capacidad para financiar los tratamientos con la recaudación obtenida sobre las descargas de aguas residuales, no queda confirmada en muchos casos. Sólo Cataluña y las Islas Baleares presentan excedentes. En Andalucía, Aragón, Cantabria, Comunidad Valenciana, Comunidad de Madrid, Murcia y País Vasco se puede sufragar el secundario. En todas las regiones, los ingresos disponibles para financiar ozonización (terciario) son insuficientes. Cataluña es la única región que podría pagar el tratamiento con UV-H₂O₂ para la regeneración de efluentes. En doce regiones no hay capacidad para autofinanciar el proceso de cloración a pesar de su bajo coste, y solo dos (Islas Baleares y Cataluña) podrían cubrir UV. En casi todo el territorio nacional, la implementación de los procesos que garantizan los objetivos de saneamiento integral del agua para fines ambientales (eliminación de microcontaminantes) financiados con la recaudación de tributos es económicamente inviable, ya que no se cumple con el principio de equilibrio económico-financiero. En general, no existe autosuficiencia para poder cubrir los gastos operativos y de inversión en los que se incurren para proporcionar el servicio de purificación requerido, siendo necesario el empleo de recursos externos a los recaudados para este fin.

En esta investigación se tiene en cuenta el coste de operación y mantenimiento, no introduciendo el coste medioambiental, debido a la compleja medición del mismo, lo cual supone una limitación del estudio. La Directiva Marco del Agua, además de considerar que debe existir un equilibrio financiero, establece que se debería considerar el argumento de racionalidad económica, optimizando los recursos disponibles, así como el de conservación del agua y la protección del medio ambiente. La inclusión de

estas cuestiones podría suponer un estudio más amplio y más completo, lo cual daría lugar a nuevas líneas de investigación de futuro.

El tercer artículo (capítulo 4) analiza la evolución del agua reutilizada en las regiones españolas entre 2004 y 2014 y la relación entre la misma y diversos factores, centrándose en el estudio de una serie de elementos que fueron previamente identificados en la literatura. Se especifica un modelo con 9 variables dependientes, para el periodo 2004-2014, con datos de las 17 regiones españolas, utilizando la metodología de datos de panel. Este estudio muestra la tendencia creciente entre 2004 y 2014 en el volumen total de aguas residuales reutilizadas en el conjunto de España, con la Comunidad Valenciana reportando el mayor volumen. En estos años, el total de agua residual tratada y reutilizada en España registró un crecimiento anual promedio acumulado de 3,73%. Sin embargo, no existe una tendencia uniforme en todas las regiones consideradas; mientras que Canarias, Extremadura y Galicia redujeron la cantidad de agua tratada reutilizada, Madrid triplicó su volumen. Las variables que más influyen en el volumen de agua reutilizada son los ingresos cobrados por saneamiento y depuración, que financian los distintos tratamientos, la producción agrícola, el área irrigada, la escasez relativa de recursos hídricos y la población, todas significativas al 1%, lo que confirma la relación positiva esperada. El agua desalada y agua superficial para el sector agrícola también son significativas al 1%, mostrando una relación negativa con el volumen de aguas residuales reutilizadas, pudiendo considerarse sustitutivos de la misma. Por el contrario, cuando se trata de aguas subterráneas utilizadas para el riego en el sector agrícola, la reutilización se percibe como un recurso complementario, destinado a aumentar el suministro existente, aunque la relación no se considera significativa, como tampoco lo es la variable referida a la situación económica, aunque se confirma el signo negativo esperado.

Este trabajo sugiere que, para aliviar la escasez de agua, el incremento de este recurso resulta clave, especialmente en zonas de la cuenca mediterránea, reduciendo además la sobreexplotación y la contaminación de los ecosistemas acuáticos, debiendo existir un sistema de financiación adecuado y transparente.

Esta investigación de la Tesis tiene como limitación principal, al igual que en el primer caso de estudio, la disponibilidad de datos. Este sector se caracteriza por la opacidad y el difícil acceso a información relevante, pudiendo mejorar y ampliarse los resultados en el momento en que exista una base de datos más completa y actualizada.

En conjunto, esta Tesis Doctoral contribuye a arrojar luz sobre la efectividad de las cargas tributarias en la protección del medio ambiente y más concretamente en el medio hídrico, aportando un nuevo enfoque a la literatura. Además, tiene una aplicación práctica al permitir orientar la actuación de las instituciones encargadas de garantizar la conservación del medio natural hídrico, con recomendaciones para la administración pública y organismos privados. Como ha quedado demostrado, se trata de un tema caracterizado por su falta de transparencia, complicando mucho el acceso a información útil de cara a la investigación y, como consecuencia, a la mejora de la gestión. Las iniciativas llevadas a cabo para conseguir la implementación de tributos que gravan el agua residual requieren la concertación pública, planes de educación para concienciar sobre la necesidad de estos instrumentos y el desarrollo por parte de las autoridades pertinentes de sistemas de financiación apropiados y transparentes, basados en la colaboración entre las iniciativas públicas y privadas. Ante todo, las autoridades responsables del servicio de depuración deben tomar las medidas adecuadas para cubrir los costes operativos y de inversión requeridos para garantizar el adecuado funcionamiento de las EDARs. Los ciudadanos deben poder observar cómo sus contribuciones tributarias ayudan a mejorar las condiciones del medio natural. Es necesario contar con información adecuada que permita la evaluación de las actuaciones llevadas a cabo y la sensibilización de la sociedad en favor de la protección del medio natural y el uso del agua depurada, como recurso valioso y sostenible.

Resumiendo, puede decirse que la investigación desarrollada ha cumplido satisfactoriamente los objetivos planteados en esta Tesis, añadiendo nuevo conocimiento al estudio del ámbito de los tributos que gravan el agua residual. Así pues, se ha confirmado que el estudio de variables económicas y extraeconómicas como el estrés hídrico, la población o la salud ambiental de las aguas constituyen la base para la identificación de elementos clave en la investigación de esta Tesis.

Para finalizar, cabe esbozar que la elaboración de esta Tesis Doctoral ya ha dado lugar a algunas publicaciones de la doctoranda y que otros resultados de la investigación desarrollada están en proceso de publicación, a lo que hay que añadir un premio de investigación.

5.2. Direcciones para investigaciones futuras

Como investigaciones futuras se propone la continuación del tema por diversas vías, teniendo en cuenta que existen muchas opciones para ello. Entre ellas, nos proponemos el estudio de las siguientes cuestiones:

1. Analizar la importancia de la inversión en tratamientos de aguas residuales por parte de los Fondos Estructurales y de Inversión 2014-2020 a nivel comunitario y por países. El objetivo es conocer las prioridades de inversión en el sector del agua para dar respuesta a las necesidades identificadas por los Estados miembros.
2. Conocer la situación en España y los condicionantes del gasto ejecutado en inversiones destinadas a la mejora del estado de la calidad de las aguas y ecosistemas asociados durante la última década, a partir de la información que ofrecen los Presupuestos Generales del Estado.
3. Investigar las tarifas que se aplican en los diferentes municipios de una misma provincia o región y las variables de las que dependen, estableciendo las diferencias en su diseño y componentes.
4. Estudiar los sistemas de tarificación aplicados, analizando si los mismos son o no progresivos, garantizando que cuanto mayor sea el volumen de vertido mayor será la contribución a los costes de depuración.
5. Análisis de eficiencia, mediante DEA, en términos de recuperación de costes de los ecotributos aplicados.
6. Realizar análisis de recuperación de los costes según los distintos usos del agua, doméstico, industrial y agrario, teniendo en cuenta los principios exigidos en la DMA.
7. Investigar qué acontece en la recuperación de subproductos y su aprovechamiento, especialmente en la agricultura, estudiando el caso de Andalucía y comparando con lo que sucede en otros territorios y especialmente con lo que ocurre en la Comunidad Valenciana y Murcia.

Sin haber pretendido cerrar el tema del uso de los tributos sobre aguas residuales para proteger el medio natural hídrico, creemos que nuestro esfuerzo puede haber contribuido a mejorar la interpretación de este aspecto de la economía del medio ambiente.

ANNEXES

Annex 1 – Chapter 2

1. xtset id year

panel variable: id (strongly balanced)
time variable: year, 2000 to 2013
delta: 1 unit

2. by year, sort: pwcrr taxb discpc EPIw expc wtax WFD HDI grparty

-> year = 2000

	taxb	discpc	EPIw	expc	wtax	WFD	HDI	grparty
taxb	1.0000							
discpc	-0.2404	1.0000						
EPIw	0.2577	-0.1556	1.0000					
expc	0.4253	-0.1637	-0.1043	1.0000				
wtax	0.3862	-0.2403	0.2477	0.3734	1.0000			
WFD	0.3787	-0.2794	0.6542	0.0864	0.1187	1.0000		
HDI	0.1289	-0.3019	-0.3822	0.6145	0.4353	-0.1408	1.0000	
grparty	-0.0485	-0.0812	-0.0795	0.0267	0.1303	-0.3122	0.3732	1.0000

-> year = 2001

	taxb	discpc	EPIw	expc	wtax	WFD	HDI	grparty
taxb	1.0000							
discpc	-0.2551	1.0000						
EPIw	0.2344	-0.1815	1.0000					
expc	0.4029	-0.1355	-0.1070	1.0000				
wtax	0.3011	-0.1750	0.0418	0.4508	1.0000			
WFD	0.3499	-0.2710	0.6542	0.0870	0.0298	1.0000		
HDI	0.0996	-0.2420	-0.4259	0.6300	0.5603	-0.1747	1.0000	
grparty	-0.0183	-0.0799	-0.0795	0.0413	0.2400	-0.3122	0.3367	1.0000

-> year = 2002

	taxb	discpc	EPIw	expc	wtax	WFD	HDI	grparty
taxb	1.0000							
discpc	-0.2467	1.0000						
EPIw	0.2315	-0.1513	1.0000					
expc	0.3785	-0.1580	-0.0967	1.0000				
wtax	0.2875	-0.2184	0.1452	0.4658	1.0000			
WFD	0.3291	-0.2651	0.6542	0.0852	0.0761	1.0000		
HDI	0.0332	-0.2398	-0.4526	0.6045	0.4615	-0.1913	1.0000	
grparty	0.0317	-0.0827	-0.0795	0.0469	0.2313	-0.3122	0.3188	1.0000

-> year = 2003

	taxb	discpc	EPIw	expc	wtax	WFD	HDI	grparty
taxb	1.0000							
discpc	-0.2197	1.0000						
EPIw	0.2231	-0.2283	1.0000					
expc	0.3635	-0.1330	-0.0976	1.0000				
wtax	0.2972	-0.1515	0.1174	0.4090	1.0000			
WFD	0.3129	-0.2638	0.6542	0.0878	-0.0018	1.0000		
HDI	0.0194	-0.1751	-0.4851	0.5988	0.4252	-0.2128	1.0000	
grparty	0.0708	-0.0923	-0.0795	0.0399	0.2436	-0.3122	0.3053	1.0000

-> year = 2004

	taxb	discpc	EPIw	expc	wtax	WFD	HDI	grparty
taxb	1.0000							
discpc	-0.2799	1.0000						
EPIw	0.1983	-0.3698	1.0000					
expc	0.3959	-0.1079	-0.0696	1.0000				
wtax	0.2927	-0.1517	-0.0299	0.4536	1.0000			
WFD	0.3008	-0.3143	0.6542	0.1253	-0.1038	1.0000		
HDI	0.0286	-0.0917	-0.5477	0.5609	0.5843	-0.2752	1.0000	
grparty	0.4071	-0.2398	-0.2154	0.5136	0.5399	-0.3070	0.5614	1.0000

-> year = 2005

	taxb	discpc	EPIw	expc	wtax	WFD	HDI	grparty
taxb	1.0000							
discpc	-0.2500	1.0000						
EPIw	0.1886	-0.3544	1.0000					
expc	0.3603	-0.1097	-0.0922	1.0000				
wtax	0.2449	-0.0395	-0.1720	0.4987	1.0000			
WFD	.	.	.	.	.	.
HDI	-0.0038	-0.0586	-0.5547	0.5777	0.6738	.	1.0000	
grparty	0.3945	-0.2154	-0.2154	0.5226	0.5338	.	0.5800	1.0000

-> year = 2006

	taxb	discpc	EPIw	expc	wtax	WFD	HDI	grparty
taxb	1.0000							
discpc	-0.1938	1.0000						
EPIw	0.1624	-0.2233	1.0000					
expc	0.3452	-0.2464	-0.1834	1.0000				
wtax	0.3290	-0.0677	-0.1681	0.4288	1.0000			
WFD	.	.	.	.	.	.
HDI	0.0195	-0.1047	-0.5294	0.6180	0.6191	.	1.0000	
grparty	0.3971	-0.1915	-0.2154	0.6127	0.5157	.	0.5660	1.0000

-> year = 2007

	taxb	discpc	EPIw	expc	wtax	WFD	HDI	grparty
taxb	1.0000							
discpc	-0.1997	1.0000						
EPIw	0.1030	-0.3232	1.0000					
expc	0.3559	-0.2191	-0.1304	1.0000				
wtax	0.3342	-0.0743	-0.1293	0.4699	1.0000			
WFD	.	.	.	.	.
HDI	-0.0149	-0.0497	-0.5212	0.6043	0.6566	.	1.0000	
grparty	0.4008	-0.1976	-0.2154	0.6340	0.5004	.	0.5732	1.0000

-> year = 2008

	taxb	discpc	EPIw	expc	wtax	WFD	HDI	grparty
taxb	1.0000							
discpc	-0.2197	1.0000						
EPIw	0.0084	-0.3396	1.0000					
expc	0.3778	-0.1539	-0.1363	1.0000				
wtax	0.3636	0.0155	-0.2250	0.3903	1.0000			
WFD	.	.	.	.	.
HDI	0.0234	0.0273	-0.5073	0.6131	0.6111	.	1.0000	
grparty	0.4425	-0.1991	-0.3305	0.6171	0.4930	.	0.5805	1.0000

-> year = 2009

	taxb	discpc	EPIw	expc	wtax	WFD	HDI	grparty
taxb	1.0000							
discpc	-0.2171	1.0000						
EPIw	0.0237	-0.3698	1.0000					
expc	0.4268	-0.1515	-0.2021	1.0000				
wtax	0.2273	0.1449	-0.2984	0.2184	1.0000			
WFD	.	.	.	.	.
HDI	0.0408	0.0399	-0.4907	0.6376	0.6222	.	1.0000	
grparty	0.0732	-0.1120	-0.2957	0.2663	0.4304	.	0.4403	1.0000

-> year = 2010

	taxb	discpc	EPIw	expc	wtax	WFD	HDI	grparty
taxb	1.0000							
discpc	-0.2815	1.0000						
EPIw	-0.0341	-0.2306	1.0000					
expc	0.3218	-0.2052	-0.2086	1.0000				
wtax	0.4230	0.0522	-0.3557	0.2623	1.0000			
WFD	.	.	.	.	.
HDI	0.1117	-0.0703	-0.4820	0.6521	0.6505	.	1.0000	
grparty	0.4747	-0.3300	-0.3226	0.2855	0.4730	.	0.4341	1.0000

-> year = 2011

	taxb	discpc	EPIw	expc	wtax	WFD	HDI	grparty
taxb	1.0000							
discpc	-0.2650	1.0000						
EPIw	-0.0591	-0.2662	1.0000					
expc	0.2907	-0.1418	-0.1687	1.0000				
wtax	0.4031	0.1121	-0.3343	0.3168	1.0000			
WFD	.	.	.	.	.
HDI	0.0673	0.0683	-0.4649	0.6684	0.6489	.	1.0000	
grparty	0.4697	-0.3050	-0.3153	0.2779	0.4486	.	0.4056	1.0000

-> year = 2012

	taxb	discpc	EPIw	expc	wtax	WFD	HDI	grparty
taxb	1.0000							
discpc	-0.2524	1.0000						
EPIw	-0.0218	-0.2612	1.0000					
expc	0.3275	-0.1463	-0.1692	1.0000				
wtax	0.3801	0.0848	-0.3660	0.2869	1.0000			
WFD	.	.	.	.	.
HDI	0.0625	0.0705	-0.4505	0.6608	0.6140	.	1.0000	
grparty	0.4042	-0.2964	-0.3096	0.2829	0.5471	.	0.4078	1.0000

-> year = 2013

	taxb	discpc	EPIw	expc	wtax	WFD	HDI	grparty
taxb	1.0000							
discpc	-0.2527	1.0000						
EPIw	-0.0302	-0.1542	1.0000					
expc	0.2961	-0.2032	-0.1893	1.0000				
wtax	0.4323	0.0546	-0.2976	0.2869	1.0000			
WFD	.	.	.	.	.
HDI	0.0626	-0.0662	-0.4467	0.6913	0.5167	.	1.0000	
grparty	0.3804	-0.3408	-0.3305	0.2924	0.5551	.	0.3917	1.0000

3. reg ln_taxb ln_discpcb ln_EPIw ln_expc ln_wtax WFD ln_HDI grparty

Source	SS	df	MS
Model	618.571848	7	88.3674068
Residual	1131.92163	174	6.50529671
Total	1750.49348	181	9.67123467

Number of obs = 182
 F (7, 174) = 13.58
 Prob > F = 0.0000
 R-squared = 0.3534
 Adj R-squared = 0.3274
 Root MSE = 2.5505

ln_taxb	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf. Interval]	
ln_discpc	0.5007916	0.3251517	1.54	0.125	-0.1409575	1.142541
ln_EPIw	2.290518	10.69708	0.21	0.831	-18.82221	23.40325
ln_expc	1.607185	0.2751965	5.84	0.000	1.064032	2.150338
ln_wtax	0.3157482	0.9578277	0.33	0.742	-1.574708	2.206205
WFD	1.524946	0.6399922	2.38	0.018	0.2617984	2.788093
ln_HDI	-7.998777	7.257699	-1.10	0.272	-22.32323	6.325682
grparty	0.2487027	0.077644	3.20	0.002	0.0954575	0.401948
_cons	-26.55605	48.37893	-0.55	0.584	-122.0411	68.92902

4. xtreg ln_taxb ln_discpc ln_EPIw ln_expc ln_wtax WFD ln_HDI grparty, fe

Fixed-effects (within) regression
 Group variable: id
 Number of obs = 182
 Group = 13
 R-sq: within = 0.2551
 between = 0.0001
 overall = 0.0114
 Obs per group: min = 14
 avg = 14.0
 max = 14
 F(7,162) = 7.93
 corr(u_i, Xb) = -0.6181
 Prob > F = 0.0000

ln_taxb	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf. Interval]	
ln_discpc	-3.411994	1.047548	-3.26	0.001	-5.480604	-1.343383
ln_EPIw	30.11783	23.74504	1.27	0.206	-16.77187	77.00754
ln_expc	-0.467079	0.3972402	-1.18	0.241	-1.251515	0.3173574
ln_wtax	0.7565681	1.608412	0.47	0.639	-2.419589	3.932725
WFD	0.6606593	0.5082014	1.30	0.195	-0.3428941	1.664213
ln_HDI	28.74078	8.92229	3.22	0.002	11.12179	46.35977
grparty	-0.2294851	0.1192949	-1.92	0.056	-0.4650586	0.0060884
_cons	-121.2076	107.014	-1.13	0.259	-332.5297	90.11457
sigma_u	3.5799767					
sigma_e	1.5714213					
rho	0.83845154	(fraction of variance due to u_i)				

F test that all u_i=0: F(12, 162) = 24.70 Prob > F = 0.0000

5. estimates store fe

6. xtreg ln_taxb ln_discpc ln_EPIw ln_expc ln_wtax WFD ln_HDI grparty, re

Random-effects GLS regression
 Group variable: id

Number of obs = 182
 Number of groups = 13

R-sq: within = 0.2448
 between = 0.0182
 overall = 0.0502

Obs per group: min = 14
 avg = 14.0
 max = 14

Random effects u_i ~ Gaussian
 corr(u_i, X) = 0 (assumed)
 Wald chi2(7) = 49.43
 Prob > chi2 = 0.0000

ln_taxb	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf. Interval]	
ln_discpc	-1.969914	0.8017908	-2.46	0.014	-3.541395	-0.3984334
ln_EPIw	13.10932	19.14746	0.68	0.494	-24.41901	50.63766
ln_expc	-.3223762	0.3722809	-0.87	0.387	-1.052033	0.4072811
ln_wtax	0.5934948	1.408811	0.42	0.674	-2.167724	3.354714
WFD	0.8157798	0.4908096	1.66	0.096	-0.1461894	1.777749
ln_HDI	28.17957	8.030064	3.51	0.000	12.44093	43.9182
grparty	-0.1027382	0.1095434	-0.94	0.348	-0.3174392	0.1119629
_cons	-50.44163	87.01942	-0.58	0.562	-220.9966	120.1133
sigma_u	2.7119421					
sigma_e	1.5714213					
rho	0.74863945	(fraction of variance due to u_i)				

7. estimates store re

8. hausman fe re

	(b) fe	(B) re	(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b- V_B)) S.E.
ln_discpc	-3.411994	-1.969914	-1.44208	0.6741583
ln_EPIw	30.11783	13.10932	17.00851	14.04285
ln_expc	-0.467079	-0.3223762	-0.1447028	0.138588
ln_wtax	0.7565681	0.5934948	0.1630733	0.7760419
WFD	0.6606593	0.8157798	-0.1551205	0.1318126
ln_HDI	28.74078	28.17957	0.5612153	3.889131
grparty	-.2294851	-0.1027382	-0.1267469	0.0472389

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg

B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

$$\begin{aligned} \text{chi2}(7) &= (b-B)'[(V_b-V_B)^{-1}](b-B) \\ &= 5.15 \\ \text{Prob>chi2} &= 0.6417 \\ &\text{(V}_b\text{-V}_B\text{ is not positive definite)} \end{aligned}$$

9. xtreg ln_taxb ln_discpc ln_EPIw ln_expc ln_wtax WFD ln_HDI grparty, fe

Fixed-effects (within) regression		Number of obs	=	182
Group variable: id		Number of groups	=	13
R-sq: within	=	0.2551	Obs per group: min	= 14
	=	0.0001	avg	= 14.0
between	=	0.0114	max	= 14
overall				
corr(u_i, Xb)	=	-0.618	F(7,162)	= 7.93
			Prob > F	= 0.0000

ln_taxb	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf. Interval]	
ln_discpc	-3.411994	1.047548	-3.26	0.001	-5.480604	-1.343383
ln_EPIw	30.11783	23.74504	1.27	0.206	-16.77187	77.00754
ln_expc	-0.467079	0.3972402	-1.18	0.241	-1.251515	0.3173574
ln_wtax	0.7565681	1.608412	0.47	0.639	-2.419589	3.932725
WFD	0.6606593	0.5082014	1.30	0.195	-0.3428941	1.664213
ln_HDI	28.74078	8.92229	3.22	0.002	11.12179	46.35977
grparty	-0.2294851	0.1192949	-1.92	0.056	-0.4650586	0.0060884
_cons	-121.2076	107.014	-1.13	0.259	-332.5297	90.11457
sigma_u	3.5799767					
sigma_e	1.5714213					
rho	0.83845154	(fraction of variance due to u_i)				

F test that all u_i=0: F(12, 162) = 24.70 Prob > F = 0.0000

10. xttest2

Correlation matrix of residuals:

	__e1	__e2	__e3	__e4	__e5	__e6	__e7	__e8	__e9	__e1	__e1	__e1	__e1
										0	1	2	3
__e1	1.00												
	00												
__e2	0.93	1.00											
	16	00											
__e3	0.76	0.87	1.00										
	42	13	00										
__e4	-	-	-	1.00									
	0.39	0.37	0.29	00									
	14	37	03										
__e5	0.88	0.91	0.80	-	1.00								
	89	95	84	0.33	00								
				17									
__e6	0.68	0.74	0.90	-	0.61	1.00							
	45	19	14	0.11	06	00							
				59									
__e7	0.33	0.33	0.58	0.18	0.20	0.77	1.00						
	98	84	69	46	08	53	00						
__e8	0.60	0.62	0.83	-	0.57	0.92	0.80	1.00					
	02	50	16	0.04	50	96	74	00					
				91									
__e9	0.79	0.80	0.76	-	0.62	0.84	0.68	0.71	1.00				
	73	50	80	0.10	52	60	74	74	00				
				91									
__e1	0.63	0.57	0.45	-	0.48	0.42	0.12	0.34	0.51	1.00			
0	95	63	78	0.46	12	17	34	75	02	00			
				89									
__e1	0.55	0.55	0.71	0.15	0.45	0.89	0.91	0.88	0.81	0.80	1.00		
1	30	34	53	03	09	91	81	34	80	81	00		
__e1	-	-	-	0.29	-	-	-	-	-	-	-	1.00	
2	0.86	0.91	0.81	27	0.81	0.81	0.54	0.77	0.85	0.86	0.86	00	
	35	06	62		44	22	48	45	02	54	70		
__e1	-	-	-	0.45	-	0.04	0.44	0.10	-	0.22	0.23	0.45	1.00
3	0.58	0.51	0.15	39	0.57	53	14	34	0.21	34	60	20	00
	30	48	55		58				27				

Breusch-Pagan LM test of independence: $\chi^2(78) = 420.612$, Pr = 0.0000

Breusch-Pagan LM test of independence: $\chi^2(78) = 420.612$, Pr = 0.0000 Based on 14 complete observations over panel units

11. xttest3

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity in fixed effect regression model

H0: $\sigma(i)^2 = \sigma^2$ for all i

$\chi^2(13) = 13222.20$

ln_taxb	Coef.	Std. Err.	z	P>|z|	[95% Conf. Interval]	
ln_discpc	-0.5051688	0.0911162	-5.54	0.000	-0.6837532	-0.3265845
ln_EPIw	16.23689	1.539812	10.54	0.000	13.21891	19.25486
ln_expc	1.064694	0.0423755	25.13	0.000	0.9816391	1.147748
ln_wtax	1.542214	0.1513328	10.19	0.000	1.245607	1.838821
WFD	0.0828205	0.0825301	1.00	0.316	-0.0789356	0.2445766
ln_HDI	12.44003	1.360553	9.14	0.000	9.773392	15.10666
grparty	0.0217168	0.0116626	1.86	0.063	-0.0011414	0.044575
_cons	-81.30265	6.756378	-12.03	0.000	-94.5449	-68.06039

Annex 2 - Chapter 4

1. xtset id year

panel variable: id (strongly balanced)

time variable: year, 2004 to 2014

delta: 1 unit

2. sum rww rsc pop rev agprod iarea swater gwater dwater rec

Variable	Obs	Mean	Std.Dev	Min	Max
rww	187	2.94e+07	5.42e+07	0	3.05e+08
rsc	187	1.003032	0.2034585	0.591	1.785
pop	187	2694420	2393487	293553	8449985
rev	187	0.5340107	0.2203527	0.15	1.41
agprod	187	1452.214	1863.43	61	9124
iarea	187	21.25134	14.60026	0	51
swater	187	872740.7	1057000	0	4613699
gwater	187	205439.5	341905.3	0	1639523
dwater	187	6681.701	20525.44	0	125386
rec	187	0.4545455	0.4992663	0	1

3. pwcorr rww rsc pop rev agprod iarea swater gwater dwater rec

	rww	rsc	pop	rev	agprod	iarea	swater	gwater	dwater	rec
rww	1.0000									
rsc	0.3134	1.0000								
pop	0.4162	0.1374	1.0000							
rev	0.2028	0.1799	0.0789	1.0000						
agprod	0.3757	-0.0044	0.6124	-0.0831	1.0000					
iarea	0.5778	0.1978	0.2312	0.1112	0.2345	1.0000				
swater	0.1922	-0.2062	0.4571	-0.0207	0.7397	0.2223	1.0000			
gwater	0.2935	0.0328	0.3134	-0.0471	0.6771	0.1240	0.3373	1.0000		
dwater	0.1289	-0.0610	0.0041	-0.1713	-0.0202	0.5147	-0.1549	-0.0939	1.0000	
rec	0.0374	-0.0021	0.0249	0.2893	-0.0105	0.0182	-0.0110	0.0496	-0.0058	1.0000

4. xtreg rww rsc pop rev agprod iarea swater gwater dwater rec, fe

Fixed-effects (within) regression		Number of obs	=	187
Group variable: id		Number of groups	=	17
R-sq: within	=	0.0918		
between	=	0.1939	Obs per group: min	=
overall	=	0.1814	avg	=
			max	=
			F(9,161)	=
corr(u_i, Xb)	=	-0.7065	Prob > F	=
				1.81
				0.0703

rww	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf. Interval]	
rsc	3210256	1.24e+07	0.26	0.796	-2.13e+07	2.77e+07
pop	30.73078	15.57668	1.97	0.050	-0.030169	61.49173
rev	-6137504	9610459	-0.64	0.524	-2.51e+07	1.28e+07
agprod	-1607.115	7159.381	-0.22	0.823	-15745.52	12531.29
iarea	269590.8	661969.8	0.41	0.684	-1037672	1576854
swater	-7.751118	8.425783	-0.92	0.359	-24.39042	8.888186
gwater	1.778185	13.05008	0.14	0.892	-23.99322	27.54959
dwater	-252.244	238.1816	-1.06	0.291	-722.6069	218.1189
rec	672293.1	2925060	0.23	0.819	-5104138	6448724
_cons	-4.90e+07	4.39e+07	-1.12	0.266	-1.36e+08	3.77e+07
sigma_u	67686032					
sigma_e	16370667					
rho	0.94473567	(fraction of variance due to u_i)				

F test that all u_i=0: F(16, 161) = 52.07 Prob > F = 0.0000

5. estimates store fe

6. xtreg rww rsc pop rev agprod iarea swater gwater dwater rec, re

Random-effects GLS regression		Number of obs	=	187	
Group variable: id		Number of groups	=	17	
R-sq: within	=	0.0761	Obs per group: min	=	11
between	=	0.3851	avg	=	11.0
overall	=	0.3582	max	=	11
Random effects u_i ~ Gaussian		Wald chi2(9)	=	20.92	
corr(u_i, X)	=	0 (assumed)	Prob > chi2	=	0.0130

rww	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf. Interval]	
rsc	2872424	1.20e+07	0.24	0.811	-2.07e+07	2.64e+07
pop	11.11016	5.206448	2.13	0.033	0.9057086	21.31461
rev	-377499.4	8435776	-0.04	0.964	-1.69e+07	1.62e+07
agprod	1441.515	5816.383	0.25	0.804	-9958.385	12841.42
iarea	956473.7	525904.1	1.82	0.069	-74279.34	1987227
swater	-10.09602	7.064871	-1.43	0.153	-23.94291	3.750873
gwater	2.57768	11.95346	0.22	0.829	-20.85067	26.00603
dwater	-229.8169	222.6695	-1.03	0.302	-666.2411	206.6073
rec	1952431	2688358	0.73	0.468	-3316655	7221517
_cons	-1.68e+07	2.17e+07	-0.77	0.441	-5.94e+07	2.59e+07
sigma_u	48596806					
sigma_e	16370667					
rho	.89808571	(fraction of variance due to u_i)				

7. estimates store re

8. hausman fe re

Note: the rank of the differenced variance matrix (5) does not equal the number of coefficients being tested (what you expect, or there may be problems computing the test. Examine the output of your estimators for anything unexpected and possibly consider scaling your variables so that the coefficients are on a similar scale.

	Coefficients			
	(b) fe	(B) re	(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b-V_B)) S.E.
rsc	3210256	2872424	337831.7	3087624
pop	30.73078	11.11016	19.62062	14.6808
rev	-6137504	-377499.4	-5760004	4604195
agprod	-1607.115	1441.515	-3048.63	4174.497
iarea	269590.8	956473.7	-686882.9	402030.9
swater	-7.751118	-10.09602	2.344902	4.59145
gwater	1.778185	2.57768	-.7994944	5.236355
dwater	-252.244	-229.8169	-22.42713	84.55028
rec	672293.1	1952431	-1280138	1152694

b = consistent under Ho and Ha; obtained

from xtreg

B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained
from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

$$\begin{aligned} \text{chi2}(5) &= (b-B)'[(V_b-V_B)^{-1}](b-B) \\ &= 5.90 \\ \text{Prob}>\text{chi2} &= 0.3164 \end{aligned}$$

9. xtreg rww rsc pop rev agprod iarea swater gwater dwater rec, fe

Fixed-effects (within) regression		Number of obs	=	187	
Group variable: id		Number of groups	=	17	
R-sq: within	=	0.0918	Obs per group: min	=	11
between	=	0.1939	avg	=	11.0
overall	=	0.1814	max	=	11
corr(u_i, Xb)	=	-0.7065	F(9,161)	=	1.81
			Prob > F	=	0.0703

rww	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf. Interval]	
rsc	3210256	1.24e+07	0.26	0.796	-2.13e+07	2.77e+07
pop	30.73078	15.57668	1.97	0.050	-0.030169	61.49173
rev	-6137504	9610459	-0.64	0.524	-2.51e+07	1.28e+07
agprod	-1607.115	7159.381	-0.22	0.823	-15745.52	12531.29
iarea	269590.8	661969.8	0.41	0.684	-1037672	1576854
swater	-7.751118	8.425783	-0.92	0.359	-24.39042	8.888186
gwater	1.778185	13.05008	0.14	0.892	-23.99322	27.54959
dwater	-252.244	238.1816	-1.06	0.291	-722.6069	218.1189
rec	672293.1	2925060	0.23	0.819	-5104138	6448724
_cons	-4.90e+07	4.39e+07	-1.12	0.266	-1.36e+08	3.77e+07
sigma_u	67686032					
sigma_e	16370667					
rho	.94473567	(fraction of variance due to u_i)				

F test that all u_i=0:

F(16, 161) = 52.07

Prob > F = 0.0000

10. xttest2

Correlation matrix of residuals:

	<u>e</u> ₁	<u>e</u> ₂	<u>e</u> ₃	<u>e</u> ₄	<u>e</u> ₅	<u>e</u> ₆	<u>e</u> ₇	<u>e</u> ₈	<u>e</u> ₉	<u>e</u> ₁₀	<u>e</u> ₁₁	<u>e</u> ₁₂	<u>e</u> ₁₃	<u>e</u> ₁₄	<u>e</u> ₁₅	<u>e</u> ₁₆	<u>e</u> ₁₇
<u>e</u> ₁	1.0																
<u>e</u> ₂	0.000	1.0															
<u>e</u> ₃	0.2513	0.000	1.0														
<u>e</u> ₄	0.3494	0.0513	0.000	1.0													
<u>e</u> ₅	0.7111	0.0724	0.0292	0.000	1.0												
<u>e</u> ₆	0.2111	0.000	0.0524	0.0040	0.000	1.0											
<u>e</u> ₇	0.2313	0.007	0.003	0.003	0.000	0.010	1.0										
<u>e</u> ₈	0.2313	0.412	0.0816	0.0740	0.004	0.000	0.000	1.0									
<u>e</u> ₉	0.3720	0.0840	0.0247	0.0483	0.0078	0.0654	0.000	0.000	1.0								
<u>e</u> ₁₀	0.3861	0.0119	0.0435	0.0251	0.00135	0.0001	0.00725	0.000	0.000	1.0							
<u>e</u> ₁₁	0.3028	0.005	0.001	0.00325	0.00178	0.0004	0.00313	0.00326	0.000	0.000	1.0						
<u>e</u> ₁₂	0.3028	0.005	0.001	0.00325	0.00178	0.0004	0.00313	0.00326	0.000	0.000	0.000	1.0					
<u>e</u> ₁₃	0.3028	0.005	0.001	0.00325	0.00178	0.0004	0.00313	0.00326	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0				
<u>e</u> ₁₄	0.3028	0.005	0.001	0.00325	0.00178	0.0004	0.00313	0.00326	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0			
<u>e</u> ₁₅	0.3028	0.005	0.001	0.00325	0.00178	0.0004	0.00313	0.00326	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0		
<u>e</u> ₁₆	0.3028	0.005	0.001	0.00325	0.00178	0.0004	0.00313	0.00326	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0	
<u>e</u> ₁₇	0.3028	0.005	0.001	0.00325	0.00178	0.0004	0.00313	0.00326	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0

D.rww	Coef.	Robust Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf. Interval]	
rsc D1.	-1.37e+07	1.45e+07	-0.94	0.359	-4.43e+07	1.70e+07
pop D1.	39.68624	17.52309	2.26	0.038	2.538953	76.83352
rev D1.	-7063192	4652126	-1.52	0.148	-1.69e+07	2798874
agprod D1.	2535.77	11575.02	0.22	0.829	-22002.18	27073.72
iarea D1.	58015.12	685487.8	0.08	0.934	-1395154	1511184
swater D1.	-1.876031	4.472221	-0.42	0.680	-11.35672	7.604655
gwater D1.	-7.470957	7.993553	-0.93	0.364	-24.41653	9.474617
dwater D1.	113.5524	333.0011	0.34	0.738	-592.3784	819.4833
rec D1.	-532385.3	2279996	-0.23	0.818	-5365761	4300990

Wooldridge test for autocorrelation in panel data

H0: no first-order autocorrelation

F(1, 16) = 4.079
 Prob > F = 0.0605

13. xtgls rww rsc pop rev agprod iarea swater gwater dwater rec, p(c)

Cross-sectional time-series FGLS regression

Coefficients: generalized least squares

Panels: heteroskedastic with cross-sectional correlation

Correlation: no autocorrelation

Estimated covariances = 153
 Estimated autocorrelations = 0
 Estimated coefficients = 10
 Number of obs = 187
 Number of groups = 17
 Time periods = 11
 Wald chi2(9) = 1972.19
 Prob > chi2 = 0.0000

rww	Coef.	Std. Err.	z	P>|z|	[95% Conf. Interval]	
rsc	2.17e+07	2947745	7.36	0.000	1.59e+07	2.75e+07
pop	3.485799	0.6635844	5.25	0.000	2.185198	4.786401
rev	2.24e+07	2391942	9.35	0.000	1.77e+07	2.71e+07
agprod	10286.72	1438.813	7.15	0.000	7466.698	13106.74
iarea	1998436	98463.73	20.30	0.000	1805451	2191421
swater	-13.07373	1.2673	-10.32	0.000	-15.5576	-10.58987
gwater	2.252853	2.944851	0.77	0.444	-3.51895	8.024656
dwater	-404.7185	55.25069	-7.33	0.000	-513.0078	-296.4291
rec	-980973.8	766863.3	-1.28	0.201	-2483998	522050.6
_cons	-5.80e+07	3662014	-15.83	0.000	-6.51e+07	-5.08e+07