

---

# **TESIS DOCTORALES**

---



DÍAZ CUEVAS, María del Pilar. *Energía eólica y territorio. Potencialidades para la implantación de parques eólicos en Andalucía*. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Sevilla. Febrero de 2013. Directores: Dra. María Fernanda Pita López, Dr. Alfonso Fernández Tabales y Dr. Florencio Zoido Naranjo.

## I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En los últimos años, en la Comunidad Autónoma de Andalucía se han desarrollado numerosas políticas encaminadas a garantizar el suministro energético mediante el fomento de las energías renovables, algo de gran importancia para esta región que cuenta con escasos recursos energéticos convencionales propios. De hecho, la implantación de parques eólicos y plantas solares se ha intensificado a lo largo de toda la superficie regional, ya que entre los objetivos más ambiciosos para la Comunidad está el formulado en el Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética según el cual, en 2013, el 38,1% de la energía eléctrica consumida en Andalucía debía proceder de fuentes de energía renovables.

Para alcanzar estos objetivos, la *Ley 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energética de Andalucía* recogía en su artículo 11 la necesidad de elaborar, acorde con la planificación energética de la Junta de Andalucía, un Programa de Fomento de las Energías Renovables, que tendría en cuenta los «condicionantes territoriales, ambientales, culturales, urbanísticos y de infraestructuras establecidos en otras planificaciones». Según esta Ley, el Programa de Fomento podría desarrollarse y concretarse en el territorio mediante la elaboración, para zonas determinadas, de programas territoriales de energías renovables que «definirán, cuando proceda, posibles zonas compatibles para infraestructuras de generación y transformación de energías renovables».

A pesar de la definición de este importante objetivo, no existe en Andalucía ningún referente en la planificación regional, ninguna aproximación vinculada a la definición de zonas compatibles con las instalaciones eólicas, lo cual ha derivado en una implantación de estos elementos en el territorio basada en una evaluación individualizada de los proyectos eólicos presentados.

La inexistencia de unas directrices sectoriales de ordenación del territorio para el aprovechamiento de las fuentes de energía renovable, expresiva de los fines y objetivos de la política territorial de la Comunidad Andaluza, unido a la liberalización de las actividades de generación de energía vinculadas al desarrollo de la *Ley 54/1997 del Sector Eléctrico* así como a los amplios objetivos planteados a nivel nacional y autonómico para la energía eólica, hace necesario para una explotación sostenible del recurso la realización de aproximaciones en la valoración de la potencialidad del territorio andaluz para la obtención de esta energía.

En este contexto, la presente tesis doctoral tiene como objeto establecer una valoración de la potencialidad del territorio andaluz para la implantación de parques eólicos. Para ello se

ha elaborado mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de evaluación multicriterio (EMC), una metodología que permite señalar con amplio nivel de detalle temático y espacial, las mejores zonas para la implantación de estos elementos, así como aquéllas donde áreas donde ésta resulta altamente desaconsejable.

## II. METODOLOGÍA

La metodología general seguida para el cumplimiento de los objetivos planteados en la tesis se ha basado en la construcción mediante SIG y técnicas de EMC de diferentes modelos locacionales, simples y ponderados que muestran las zonas del territorio andaluz que resultan incompatibles con la implantación eólica así como aquéllas que presentan una mayor idoneidad y potencialidad para ello.

En primer lugar se ha realizado un exhaustivo análisis de documentos técnicos, científicos y de planificación eólica para diferentes ámbitos y escalas espaciales que ya han establecido determinaciones para la zonificación eólica. Dicho análisis ha resultado fundamental para la investigación, pues ha influido en el establecimiento de los contenidos, objetivos y criterios de incompatibilidad, idoneidad o potencialidad. A continuación se ha identificado y analizado las zonas del territorio andaluz donde la implantación de parques eólicos resulta incompatible con alguno de sus rasgos según los factores y criterios previamente definidos. Estos criterios se dirigen a garantizar la protección del patrimonio histórico, natural y cultural así como a la población, de posibles efectos adversos producidos por la implantación de parques eólicos. A estos criterios se les unen otros dirigidos a garantizar la eficiencia energética y territorial de estas instalaciones (con el fin de evitar al máximo las pérdidas energéticas o grandes costes económicos, sociales o ambientales, derivados de la necesidad de generar nuevas infraestructuras de acceso a los parques).

Una vez desestimadas las zonas incompatibles con la implantación, se ha catalogado posteriormente el resto del territorio andaluz considerado a priori como compatible, según su mayor o menor idoneidad para la implantación de parques eólicos. Para ello se ha trabajado en la definición y tratamiento de criterios de idoneidad que han sido ponderados para la elaboración de tres índices diferentes: índice de protección patrimonial, índice de protección de la población e índice de eficiencia energética y territorial.

Las ponderaciones de criterios se ha llevado a cabo a partir de la realización de entrevistas a numerosos grupos de investigación y expertos en territorio andaluz y energías renovables, garantizando la ausencia de inconsistencias en ellas, para lo cual se han seguido los planteamientos del Método de comparación por pares de Saaty (Saaty, 1980), utilizado en numerosos trabajos sobre planificación empresarial, territorial y entorno SIG e incluso en la resolución de conflictos internacionales (Siddiqui et al., 1996).

Seguidamente se ha elaborado un índice agregado de las catalogaciones anteriores que categorizan los territorios a priori compatibles con la implantación eólica, en función de su idoneidad. La construcción del Índice agregado expresa los niveles de idoneidad del territorio andaluz para la implantación de parques eólicos y se ha realiza a través de la agregación de los índices previamente calculados. Por último, se ponen en común los niveles de idoneidad con el recurso eólico para calcular la potencialidad del territorio andaluz para la implantación de dichas infraestructuras. Para ello se ha utilizado el *grid* de velocidad media del viento

en Andalucía calculado para una altura de 120 m<sup>1</sup> perteneciente al proyecto MINIEÓLICA (Gomariz-Castillo *et al.*, 2012.).

Dado que no siempre los criterios y umbrales pueden establecerse de manera aséptica y objetiva, independientemente de la toma de decisión por parte de la sociedad, se ha renunciado a establecer un único modelo de clasificación territorial, y se ha preferido fijar dos modelos, uno más restrictivo en cuanto a los niveles de protección del territorio y otro más laxo y permisivo. Así, para esta investigación se han construidos dos escenarios diferentes. El primero de ellos incluye menor grado de restricción, que deriva de la legislación y planificación ambiental existente; el segundo incluye una restricción más severa sobre los criterios, basada en las propuestas realizadas por diversos autores que han abordado experiencias de zonificación parecidas en otros ámbitos, y que ya han sido abordados.

### III. RESULTADOS

Los resultados de esta tesis han sido más que satisfactorios al cubrir los objetivos previstos. La conjunción de los SIG con las Técnicas de Evaluación Multicriterio constituye una herramienta de gran utilidad en el estudio, ordenación y planificación de las energías renovables. En este sentido, el uso del *model builder* admite la realización de gran cantidad de operaciones mediante la incorporación de las herramientas de Arc-Gis y de otros *scripts*, así como la posibilidad de incorporar nuevos criterios o cambios en el grado de restricción aplicados sobre ellos. Además permite la generación de diversos escenarios y el desarrollo de una metodología fácilmente repetible y de aplicar a cualquier territorio.

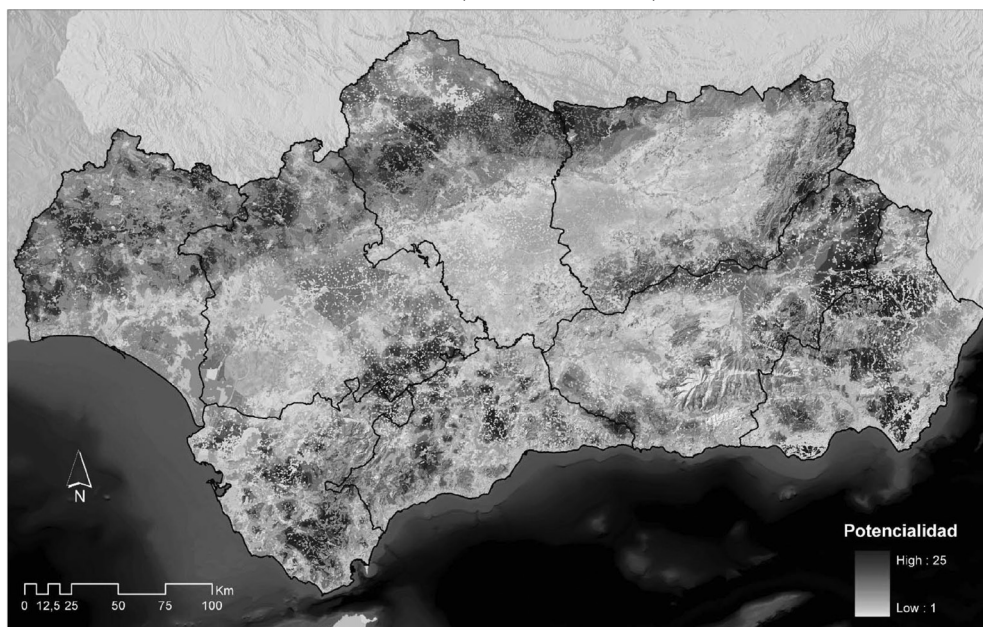
La metodología desarrollada en esta tesis doctoral resultar útil en la valoración de la potencialidad del territorio andaluz para la implantación de parques eólicos. Pensamos que éste constituye uno de los resultados clave de la tesis doctoral, puesto que tanto la Administración como los promotores eólicos dispondrán de una herramienta capaz de identificar de manera rápida y eficaz las áreas incompatibles y los criterios que éstas incumplen, acelerando trámites administrativos derivados de la implantación eólica en el territorio andaluz y facilitando un impulso ordenado del sector eólico en la región. Este hecho será de gran utilidad ya que, por lo general, se comprueba que las zonas que incumplen múltiples criterios a escala regional suelen ser las que quedan excluidas de la implantación eólica a escalas de mayor detalle. Además, conocer cuáles son los criterios que incumple una determinada zona permitirá conocer dónde, la actuación sobre alguno de ellos, mejoraría los valores de potencialidad, tal y como ocurre con el caso de la red eléctrica en otros modelos construidos con anterioridad (ver Díaz, Pita y Zoido, 2011).

Destaca entre los resultados como frente a la idea surgida en los últimos años de la gran potencialidad del territorio andaluz para las implantaciones eólicas, generalmente derivada del principio de poner todo el territorio en producción, aparece, en función de las necesarias restricciones a aplicar, una menor proporción de zonas concretas que presentan potencialidad real. Así, gran parte del territorio andaluz resulta incompatible con la implantación eólica en los dos escenarios analizados, en torno al 48,5% del territorio andaluz, (42.464,1Km<sup>2</sup>), en el escenario menos restrictivo y el 84% del territorio andaluz en el escenario donde se

---

1 Altura fácilmente alcanzable por los aerogeneradores actuales.

MAPA 1  
VALORES DE POTENCIALIDAD DEL TERRITORIO ANDALUZ PARA LA IMPLANTACIÓN DE PARQUES EÓLICOS EN EL ESCENARIO A (MENOS RESTRICTIVO)



Fuente: Elaboración propia.

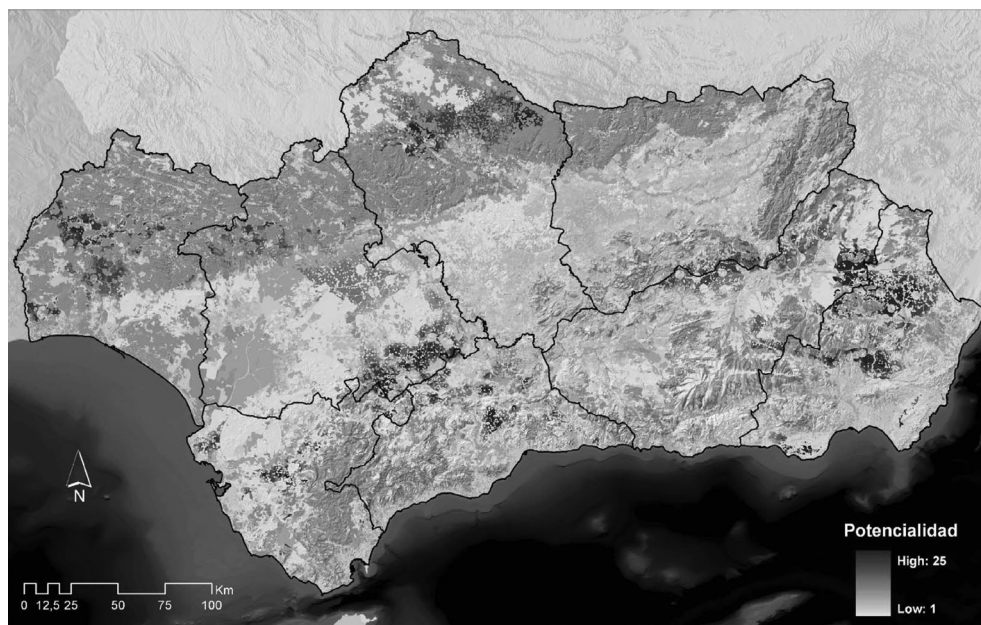
aplican las mayores restricciones (73.546,2 Km<sup>2</sup>). Aparece también, una menor proporción de zonas concretas que presentan la mayor potencialidad real. Éstas últimas, representan en torno a 4.200 Km<sup>2</sup> en el escenario menos restrictivo (Mapa 1) y, 1.400 Km<sup>2</sup> (Mapa 2) en el más restrictivo.

Además de los resultados descriptivos, que garantizan la eficacia de la tesis doctoral pues cumple los objetivos propuestos, se obtienen otros complementarios como es la generación de una base de datos espacial o geodatabase de energías renovables, no existente hasta este momento para la Comunidad Autónoma Andaluza. La disponibilidad de esta base de datos espacial permite la realización de un análisis en profundidad las relaciones entre energía eólica y territorio (proceso de implantación, causas de su desarrollo, distribución territorial y paisajística y tendencias futuras en Andalucía).

Para ello se ha procedido a la digitalización mediante las diversas series de ortofotografías aéreas disponibles, todas las centrales de energías renovables instaladas en Andalucía a fecha de 2009 y su integración, junto con diferente información temática y espacial en una base de datos geográfica.

Se han digitalizado mediante series de todos los aerogeneradores instalados en Andalucía (1916 aerogeneradores pertenecientes a 126 parques eólicos diferentes), así como la superficie de todas las centrales solares. Este hecho es destacable puesto que la única información espacial existente para las centrales eólicas y solares se refiere a la localización del punto

MAPA 2  
VALORES DE POTENCIALIDAD DEL TERRITORIO ANDALUZ PARA LA IMPLANTACIÓN DE PARQUES EÓLICOS EN EL  
ESCENARIO B (MÁS RESTRICTIVO)



Fuente: Elaboración propia

central de cada parque eólico o planta solar. También se ha incorporado información espacial referente a las centrales de biomasa y las centrales minihidráulicas. Esta información espacial ha sido completada con información temática de diversas fuentes que permite la caracterización de cada uno de estos elementos en función de su potencia instalada, marca del aerogenerador, empresa promotora, etc.

Toda esta información junto con otras referencias espaciales vinculadas a dominios territoriales, municipios, áreas paisajísticas y unidades de paisaje entre otras, se ha integrado en una base de datos espacial, fácilmente explotable mediante sencillas sentencias structured query language (SQL) para la generación de diversos indicadores, simples o combinados, diacrónicos, etc., algunos de ellos no calculados previamente para la Comunidad (superficie ocupada por las plantas fotovoltaicas, densidad de aerogeneradores según diversas referencias espaciales, etc). Ello resulta de gran importancia para caracterizar el fenómeno de implantación de estas energías en Andalucía, así como su distribución territorial y paisajística y mejorará determinados análisis realizados con su explotación. Así, puede obtenerse el número exacto de aerogeneradores que se localizan en el interior de algún espacio natural protegido, o mejorar y completar los análisis de visibilidad, realizados hasta el momento con el punto central de cada parque eólico; mientras que ahora para cada aerogenerador se tiene un punto y una altura específica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGENCIA ANDALUZA DE LA ENERGÍA (2007): *Plan Andaluz de sostenibilidad energética (2007-2013)*. Consejería de Innovación, Ciencia y Empleo, 180 pp.
- DÍAZ CUEVAS, M.P., PITA LÓPEZ, M.F. y ZOIDO NARANJO, F. (2011): «El papel de la red eléctrica en la definición de las potencialidades territoriales para la implantación de la energía eólica en Andalucía». En GONZÁLVEZ PEREZ, V. y MOLINA, M. (Eds.) *Energía y territorio: dinámicas y procesos. XXII Congreso de Geógrafos Españoles*, Alicante, Asociación de Geógrafos Españoles-Colegio de Geógrafos de España, pp. 109-118.
- GOMARIZ CASTILLO, F.J., ALONSO SARRÍA, F., MONTÁVEZ J.P. y LORENTE SALAS, R. (2012): «Un servidor cartográfico para la modelización del potencial eólico sobre la Península Ibérica basado en software libre». En MARTÍN VEGA, J. y MARÍN, I. (Eds.) *Tecnologías de la Información Geográfica en el contexto de Cambio Global*. Madrid, Instituto de Economía, Geografía y Demografía CSIC, pp. 459-469.
- SAATY, T.L. (1980): *The analytic hierarchy process*. New York: Mc Grawhill.
- SIDDIQUI, M., EVERETT, J., y VIEUX, B. (1996): «Landfill siting using geographical information system: A demonstration». En *Journal of Environmental Management*, núm. 122, Issue 6, pp. 515-523.
- LEY 2/2007, DE 27 DE MARZO DE FOMENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE ANDALUCÍA. *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía* número 109, de 7 de mayo de 2007.
- LEY 54/1997 DEL SECTOR ELÉCTRICO. *Boletín Oficial del Estado*, número 285, de 28 de noviembre de 1997.

VIVES MIRÓ, Sonia. *L'espai urbà del capitalisme. La construcció del projecte neoliberal de Palma*. Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de las Islas Baleares. Marzo de 2013. Director: Dr. Onofre Rullan.

Como el propio título expresa, la tesis estudia el espacio urbano del capitalismo, singularizado en un caso concreto, la ciudad de Palma y sus transformaciones en la fase neoliberal. No abundan, en la geografía española, los trabajos que aborden en profundidad las relaciones entre el espacio urbano y el capitalismo, así como las implicaciones del pensamiento y las políticas neoliberales. Además, desde una perspectiva internacional, este análisis contribuye a documentar la generalización del neoliberalismo urbano, sin dejar de señalar las peculiaridades que presenta la ciudad derivadas del marco nacional (España) y regional en que se inserta (región turística).

Un rasgo a destacar del trabajo es que se trata de una aportación desde la teoría crítica urbana y la Geografía radical; una investigación situada, nos indica la autora, dentro de un



planteamiento crítico reflexivo, entretejido con su propia concepción vital y nutrido con su aprendizaje tanto en la academia como en los movimientos sociales.

Los objetivos y supuestos de partida de la investigación son relevantes tanto académicamente como socialmente. Su objeto central es explicar el proceso de neoliberalización que ha experimentado Palma desde los primeros años noventa del pasado siglo, contextualizándolo en la emergencia del régimen de acumulación flexible, así como sus efectos espaciales y sociales.

El marco teórico de la tesis (capítulos 1 y 3) se apoya en los planteamientos de H. Lefebvre y D. Harvey, y pretende contribuir a la reflexión sobre el papel del medio construido en la acumulación de capital, absorbiendo los excedentes como solución para ralentizar las crisis. Así pues indaga sobre la conversión del suelo en un activo financiero y por tanto su integración en la dinámica del capital financiero, así como sus consecuencias respecto a la actuación de los propietarios del suelo. Estos cambios están relacionados con la formación de gobiernos urbanos empresarialistas, que han impulsado los megaproyectos y la elitización (gentrificación) como instrumentos para la competencia interurbana. En consecuencia, el hilo conductor del estudio empírico se orienta a verificar la existencia de un gobierno y unas políticas neoliberales en la ciudad de Palma, a través del análisis detallado de los distintos grupos gobernantes, de la producción de su espacio urbano, de la red de agentes inmobiliarios y de las divisorias sociales resultantes.

Respecto a la estructura del trabajo, la autora opta por presentar el desarrollo de Palma en el contexto de la evolución general del capitalismo (capitalismo industrial, fordista, postfordista), y el papel que desempeña la ciudad, a lo largo del siglo XX. De ahí los tránsitos escalares que constituyen uno de los rasgos de esta tesis; la articulación analítica entre diferentes escalas territoriales (el ámbito internacional, el estado nación y el marco local) es uno de los ejes del trabajo, que sitúa la inserción de Palma en el conjunto de cambios más amplios. De especial interés resulta su presentación del modelo de acumulación flexible en España y el caso balear (capítulo 4). Constituye un apartado clave en el que de manera contundente, con una redacción concisa y con datos incontestables, excava los procesos subyacentes al ‘milagro español’ —y su posterior derrumbe— y refuta las explicaciones basadas en la ‘cultura de la propiedad’, ‘todos hemos cometido excesos’, etc. Apoyándose en un conjunto de análisis valiosos a escala estatal, y de otros de su propio grupo de investigación, deja bien establecido el peso del sector inmobiliario en España, y su vinculación al flujo de capitales europeos. A continuación va descubriendo los mecanismos institucionales que actúan como palancas para determinados comportamientos ‘culturales’: la desgravación fiscal, la política de vivienda dirigida a la producción de vivienda en propiedad, la liberalización del mercado hipotecario, la legislación urbanística, etc. Finaliza con la exposición de la denominada ‘vía balear’, su recurso al turismo como fórmula de inserción en los circuitos del capital internacional.

En cuanto al estudio de Palma, la tesis aborda la evolución de la ciudad a lo largo del siglo XX y gran parte de la primera década del XXI (capítulos 2, 5 y 6). En el capítulo 2 efectúa un repaso histórico de la urbe durante el siglo XX, presentando los distintos planes que, desde diferentes perspectivas (liberal, franquista, incipiente keynesianismo), modelan la ciudad y dan pasos hacia su especialización turística. Comienza con la temprana propuesta del Plan Bannasar (1917) que, sin embargo, traza los elementos clásicos —paseo marítimo, hoteles, y ampliación del puerto— para su conversión en ciudad turística. En los años

sesenta y setenta, durante el desarrollismo turístico español, Palma experimenta importantes cambios que buscan su transformación en una ciudad de vacaciones mediante la promoción inmobiliaria; asimismo va configurando dentro de su espacio turístico, la Bahía de Palma, una diferenciación socioespacial que tendrá efectos a medio plazo. Los ochenta introdujeron aires de austeridad, proponiendo políticas de rehabilitación integral para el centro histórico y la dotación equilibrada de equipamientos en la ciudad, al tiempo que se seguía impulsando la expansión turística. Propuestas efímeras pues la siguiente década registrará el eclipse de los incipientes proyectos redistributivos.

El tratamiento de Palma en el período 1990-2007 constituye el grueso de la investigación y su parte más original (capítulo 5). Una etapa en la que las políticas y el planeamiento se orientan a lograr una ‘ciudad emprendedora de especialización turística’. La autora desgrana la relación de proyectos e infraestructuras que se proponen, se edifican y en algunos casos se derriban. El Parque de las Estaciones es ilustrativo del irracional proceso de construcción/destrucción capitalista. Inaugurado con muchas deficiencias en un año electoral (1999), se continuaron las obras hasta su finalización en 2003; tan solo dos años más tarde se derribó para levantar un Intercambiador, de manera que el parque ya no existía cuando se empezó a pagar la obra.

Un aspecto destacado e innovador del análisis es que desvela también lo subyacente, un notable grado de corrupción al que van vinculadas muchas de estas operaciones, poniendo de relieve la actuación de distintas redes de poder. Algunas como el proyecto del Velódromo de Palma han dado origen al conocido caso Palma Arena y sus amplias derivaciones. Entre las aportaciones de este capítulo merece la pena mencionar el breve y contundente epígrafe de la financiación municipal entre 1984-2010, un apartado infrecuente en los análisis geográficos, que revela, por un lado, el incremento de la deuda municipal y, por otro, la transformación de los acreedores —la creciente sustitución de los bancos y entidades públicas por entidades financieras privadas—. La autora considera esta dependencia del capital privado como un gran condicionante de las políticas municipales.

La expansión física de la ciudad durante la etapa neoliberal estuvo asociada a una importante revalorización inmobiliaria que, si bien benefició al grupo de propietarios durante el ciclo alcista, significó el encarecimiento del acceso a la vivienda para el resto de la población. Los elevados precios del suelo y de la vivienda están relacionados con el carácter oligopólico de la propiedad del suelo, pues 10 grandes grupos empresariales controlan más del 65% del suelo urbanizable; asimismo se examina la red de intrincadas relaciones entre los distintos agentes inmobiliarios (propietarios, promotores), financieros y políticos.

Tras exponer el proceso de producción del espacio urbano y la red de agentes implicados, la autora cambia el foco de atención para mostrar su resultado espacial: una ciudad segregada. Los efectos segregadores del mercado residencial son claramente presentados mediante el uso de una excelente y detallada cartografía. Así conocemos la desigual distribución de las propiedades hipotecadas, de las viviendas según su régimen de ocupación, y de la población de acuerdo, entre otros indicadores, a su nivel de estudios y edad. Esta representación básica le permite elaborar una caracterización de los que denomina ‘espacios sociales precarizados’ (como los barrios más antiguos del costado oriental y las zonas turísticas degradadas que concentran a los inmigrantes no cualificados), mientras las clases altas se mantienen en sus enclaves tradicionales al oeste de la ciudad. El análisis de la gentrificación del barrio de sa

Gerrería, en el que predomina la nueva construcción sobre la rehabilitación, cierra esta sección.

En el último capítulo explora las medidas adoptadas tras la crisis de 2007, poniendo de manifiesto como ésta sirve de cobertura para ampliar la desregulación a favor de la actuación privada, bien rescatando fórmulas muy conocidas o mediante nuevos mecanismos financieros. En resumen, un estudio riguroso y esclarecedor sobre la lógica capitalista del espacio urbano, que nos deja con cierto desasosiego sobre la vulnerabilidad de las ciudades, y sobre todo de sus habitantes, ante los movimientos del capital financiero, o lo que es lo mismo, esos flujos que provocan hoy un efecto riqueza para que mañana se desvanezca en el aire.

LIMONES RODRÍGUEZ, Natalia. *Hydrological drought in the Spanish mediterranean domain. Proposal of implementation of the IESP index on runoff datasets*. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Sevilla. Junio de 2013. Directora: Dra. María Fernanda Pita López.

## I. SUMMARY OF THE STUDY

### 1. Background, rationale and objectives of the work

Aridity, the systematic lack of moisture and water resources, is a natural geographical feature that defines the climate of the Spanish Mediterranean catchments, which can be limiting (Rico Amoros and Hernández Hernández, 2008). Another important fact is that in this area the availability of water, mainly from surface and underground sources, is characterized by a remarkable spatial, interannual and seasonal irregularity. In addition, there are two paradoxes regarding water demand that aggravate this problem:

- Normally the highest demands are concentrated in summer, the season in which the flows are more limited or even nonexistent.
- At the same time, these demands are concentrated in the most populated and dynamic area, the Mediterranean, which is the driest.

We must add the random factor introduced by drought to all this systematic, predictable and schedulable irregularity. Drought is a temporary anomaly, more or less prolonged, during which rainfall values are below normal in the area, implying a significant reduction of water resources (Spanish Ministry of Agriculture, Food and Environment, 2013a).

This is an occasional natural risk, but is particularly common and extreme in the Mediterranean region, which is expected to be accentuated in the context of climate change, due to the rising evaporative demand of the air, and the more frequent erratic rainfall, which will foster the appearance of drier sequences.

On the other hand, a pressing priority not fully resolved yet is the establishment of a system of indicators to forecast and control drought, which also enables the activation of proto-

cols of early warning. In fact, the biggest efforts related to droughts of the Expert Committee of the Spanish Ministry of Agriculture, Food and Environment are driven in that direction.

Our characterization of shortage phases of the past is a starting point to further develop other indicators of the system, because the comparison of the intensity and persistence of these stages with the measures taken in that time to supply the population will help us to assess the vulnerability to drought suffered by this particular population.

Thus, the *general objective* of this research aims to study the behavior of hydrological drought in the Spanish Mediterranean catchments by analyzing runoff datasets. This main objective is broken down into the following specific goals to be accomplished:

- A. First, to analyze the existing connections and causalities between meteorological drought and drought in runoff.
- B. Secondly, to verify the usefulness of the **application or adaptation of the Standardized Index for Meteorological Drought (IESP)** on runoff datasets of catchments.
- C. Finally, to establish a typology of catchments, according to some measured physical parameters, and to forecast a pattern of hydrological response to dry circumstances for each class.

The study will focus only on drought strictly determined by natural processes so we will only consider the situation prior to anthropogenic interventions. This requirement determines the limitation that only datasets from headwaters catchments can be used.

The main *justification* of this thesis is the knowledge gaps that persist about the effects in flow of the meteorological drought. Beyond some general comments set out in documents such as the White Paper on Water in Spain and in the thesis «*Las sequías hidrológicas en la Península Ibérica*» by Lorenzo Lacruz (2012), there are few accurate descriptions of these relationships.

The general *hypothesis* of this research are:

- Drought in flow should mimic the behavior of meteorological drought, but with notable variations attributable to the conditions imposed by the features of the catchments.
- Knowing these variations and relationships between drought in both variables, drought in rainfall could achieve some predictive value, a very useful advantage for resource planning in deficit situations.

## 2. Methodology

In our study, there are three different stages of analysis, leading to the achievement of the objectives:

- First a thorough characterization of the pilot catchments is made, delving into the features that might affect the functioning of runoff.
- This will be followed by the analysis of meteorological and hydrological data. The patterns recorded in rainfall and runoff will be contrasted at several temporal levels (monthly, seasonal, annual, etc.) to assess whether these variables follow a general pattern of interconnection.

This way it is possible to interpret if the analysis of drought will be improved in some sense (intensity, duration, etc.) by using runoff to define it.

- Lastly, the *Standardized Index for Meteorological Drough* (IESP) is applied both for rainfall and for runoff in each catchment, to identify and evaluate the different dry sequences of the two series. This is another point where we compare both behaviors and we link this to the features of the catchments.

Once completed these stages, a deep assesment of all the results is carried out to verify if the application of the IESP in flow data is valid and useful.

### 3. Sources of data

Rainfall datasets used come from the *MOPREDAS* database (*Monthly Precipitation Dataset*), developed by the Department of Geography of the University of Zaragoza (González-Hidalgo, Brunetti and De-Luis, 2011).

Runoff datasets are obtained from the *ROEA* database (*Official Network of Gauging Stations*) provided directly by the *SIA* website: *Integrated Water Information System* (Ministry of Agriculture, Food and Environment, 2013b). Previously we considered the possibility of using official data modeled, but they were found to be not sufficiently reliable for small scales.

As we stated, our study will be restricted to head catchments to ensure the purity of the natural flow values at any point of the network or the catchment, eliminating the anthropogenic incidence on volumes upstream, which logically might denature measurements.

Finally, **datasets about the characteristics of the catchments were drawn from GIS analysis**, mostly from *ESRI Shapefile* format files. The majority of them were also downloaded from the *SIA* website. The input data extracted from this web are:

- All the Mediterranean River Basin Districts of Spain, both mainland and insular.
- The hydrological catchments in which these River Basin Districts are divided.
- The reservoirs.
- The rivers, at 1:25.000 scale.
- Hydrogeologic Unities.
- Snow cover.

Instead, *ESRI Shapefiles* for land use come from the information produced for the *CORINE Land Cover* project in the year 2006 (European Environment Agency, 2013).

Finally, the 80 m. resolution Digital Elevation Model (DEM) of the Iberian Peninsula used to perform GIS analysis, was generated by A. M. Felicísimo from data from the *U. S. Geological Survey*. It is available on his website (Felicísimo, 2013).

### 4. Selection of the study area and study interval

The spatial context of study, within which the head catchments are selected is composed by the eleven different River Basin Districts of the Spanish Mediterranean climatic domain (Fig. 1).

They cover an area of 444,810 km<sup>2</sup> within 13 Spanish regions, plus 55,610 km<sup>2</sup> in Portugal, although this space is not considered in this study. They are very different in terms of geological composition and structure, which influences the topography, geomorphology, the water regime, the vegetation, etc. There are also many weather gradations, especially arising from the distance to the sea, altitude, landscape and, to some extent, the latitudinal differences.

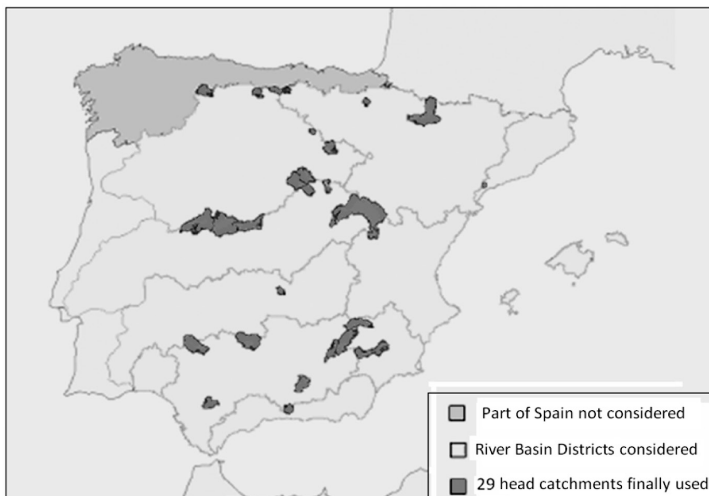
FIG. 1  
RIVER BASIN DISTRICTS OF THE SPANISH MEDITERRANEAN CLIMATE WITH PART OR ALL OF THEIR TERRITORY IN SPAIN



Source: Own elaboration.

Within them, 29 head catchments have been selected (Fig. 2).

FIG. 2  
HEAD CATCHMENTS SELECTED FOR THE STUDY, WITHIN THE SPANISH MEDITERRANEAN RIVER DISTRICTS



Source: Own elaboration.

The choice of these particular head catchments is due to the following questions:

- First, the selection was forced by the relative youth of our gauging network: there are very few facilities equipped with technology that allowed the collection of long and complete series.
- Another reason to support the use of these 29 catchments in particular is the diversity of their physical characteristics, very useful to check how they affect on the differentiation between hydrological and meteorological drought.
- Last, these 29 catchments used are very well distributed geographically, allowing the analysis of a lot of different climatic conditions inside the Spanish Mediterranean area.

With respect to the establishment of a temporal context for our study, we selected the period between 1957 and 2005 to ensure continuity in the measurement and statistical representativeness.

As well as the selected spatial context conditions the study period we will use, since the datasets used for each catchment have a given length, conversely it is the same, and it is the period of study necessary to conduct a valid statistical analysis which restricts the number of study catchments to be used.

## **II. SOME RESULTS AND CONCLUSIONS OF THE THESIS**

Onwards, the most important results of the thesis will be detailed. For reasons of space in this text they will be presented only regarding to the conclusions drawn from them and comparing them with the initial hypotheses that they meet.

### **1. Deductions about the application of the IESP index in rainfall and in runoff**

It is clear that hydrological drought is more territorially heterogeneous than rainfall drought.

The worst hydrological droughts are more grouped towards the end of the series than in rainfall, which shows that it is a phenomenon that accumulates and retards what happens in precipitation. In fact, we found out that hydrological drought is delayed about two months with respect to the meteorological one but impermeable catchments do not show this lag between droughts.

In general, hydrological drought is a phenomenon little fluctuant, very persistent, especially in permeable catchments. According to this statement, there are fewer severe droughts than in precipitation because a dry hydrological sequence usually involves several meteorological ones.

The observation of the series of the histograms of the index in runoff reveals many issues about the physical characteristics of the study cases and the hydrological behavior in situations of drought. It is clear that high skewness and high kurtosis are associated with contrasting regimes, with a marked summer aridity associated with low rainfall and high evapotranspiration. They tend to be impermeable catchments, or with low permeability, where the recharge and discharge of groundwater is scarce or absent. In contrast, catchments with low or negative values of skewness and kurtosis in the histograms tend toward bimodal

shapes in them: half of the series is wet and the other half is dry. Their runoffs are highly regulated by the role of groundwater, which confers resistance both to exhaustion and to recovery of the hydrologic conditions. Logically, all other observed situations range between these two.

## **2. Deductions about the classification of the catchments using their hydrological drought**

The hypothesis that proposed the possibility of grouping the catchments according to the behavior of their hydrological drought is confirmed. Some geographical and hydrological characteristics of the catchments give rise to the union, being mainly:

- Permeability and the existence of baseflow in the catchment. If the permeability is significant it works by slowing and softening the hydrological response to drought and vice versa. All of the catchments with similarities in this characteristic are closely linked.
- Evapotranspiration. If it is significant it is another factor of distortion with respect to what happens in rainfall, especially because it is not uniform throughout the year.
- Snow retention / melt. This phenomenon acts delaying the response, also restricted to a particular part of the year.

In fact, there is a group of catchments that are characterized by the absence of these distorting factors: they are impermeable, they do not have an important evapotranspiration and they are not pluvionival either. As a consequence, they are statistically grouped together because both drought indexes are similar on them. The rest of the case studies show one or more of the disturbances.

The consistency of the typology established could allow the possibility of adding any new case study to it.

## **3. Strengths of the IESP index applied in runoff**

The advantages of using the IESP for defining hydrological drought are:

- As an index, it is more effective than other estimates because its formulation considers the dry circumstances from the moment the deficit appears, not using a fixed time interval to accumulate. It also improves other calculations because the median is more suitable than the average to the Mediterranean regimes, highly variable.
- The index exposes many different hydrological behaviors in deficit situations and the simple examination of their temporal graphs or histograms permits the distinction between catchments.
- The results of the application of the index are always more closely linked to available resources if applied to the runoff rather than to precipitation.
- Furthermore, it was found that there are delays in runoff drought with respect to meteorological drought and that the former is less oscillating than the latter, so it is easy to predict using the index on both variables.



#### 4. Limitations of the IESP index applied in runoff

In some case studies, to apply the index to any monthly datasets of runoff as it is conceived and without further specification would imply that droughts would not be well defined and even normal situations are marked as anomalous. In this sense, major conflicts have been observed in catchments with skewness in the histograms of the series of their runoff indexes, that do not show sufficiently high intensities in their index values but, in turn, that have a lot of mild droughts.

Truly, it is not a deficiency in the design of the index itself, but a characteristic to be attributed to the nature of the runoff. At any case, it could be solved by applying extreme events analysis to the final series of the index.

### III. REFERENCES

- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2013): *Corine land cover types*. Disponible en <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/corine-land-cover-types-2006> [ref. de 20 de junio de 2013].
- FELICÍSIMO, A.M. (2013): *Datos*. Disponible en <http://www6.uniovi.es/~feli/Data/Datos.html> [ref. de 20 de septiembre de 2013].
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C., BRUNETTI, M. and DE-LUIS, M. (2011): «A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945–November 2005)». *International Journal of Climatology*. n° 31 (5), p. 715–731.
- LORENZO LACRUZ, J. (2012): *Las sequías hidrológicas en la Península Ibérica: Análisis y caracterización espacio temporal, influencias climáticas y el efecto de la gestión hidrológica en un contexto de cambio global*. Universidad de Zaragoza. Disponible en <http://zaguan.unizar.es/record/9913/files/tesis-2012-146.pdf> [ref. de 10 de noviembre de 2013].
- MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND ENVIRONMENT (2013a): *Observatorio Nacional de la Sequía*. Disponible en <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/> [ref. de 18 de octubre de 2013].
- MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND ENVIRONMENT (2013b): *Sistema Integrado del Agua*. Disponible en <http://servicios2.marm.es/sia/consultas/servlet/consultas.GlobalFilter?tipo=masiva&sid=generate> [ref. de 1 de octubre de 2013].
- RICO AMORÓS, A. and HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, M. (2008): «Ordenación del territorio, escasez de recursos hídricos, competencia de usos e intensificación de las demandas urbano-turísticas en la Comunidad Valenciana». *Documentos de Análisis Geográfico*. n° 51. p. 79-109.

