

Influencia del cambio climático en la renta agraria

D^a. María García Flecha

Departamento de Economía
Universidad Pública de Navarra

D^a. Montserrat Viladrich Grau

Departamento de Administración
de Empresas y Gestión Económica
de los Recursos Naturales
Universitat de Lleida

I. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas se ha ido imponiendo en la comunidad científica la idea de que existe una relación directa entre la concentración atmosférica de ciertos gases emitidos por el hombre en el desarrollo de su actividad productiva y el proceso de cambio climático que se viene experimentando. En la actualidad, esta idea está comúnmente aceptada y es por ello que el cambio climático y sus potenciales consecuencias ocupan un papel protagonista en la agenda política medioambiental. Por otra parte, es también indiscutible que el cambio climático influye en el bienestar humano, y de este modo adquiere un significado económico importante en la toma de decisiones políticas relacionadas con el mismo.

Uno de los sectores más afectados por el cambio climático será el sector agrícola. Este sector presenta una especial sensibilidad al cambio climático tanto por la dependencia directa de la productividad agraria respecto del clima¹ como por su dependencia directa de las disponibilidades de agua. Esta disponibilidad, al igual que en el resto de países mediterráneos, se prevé que se verá amenazada, lo que puede ser un factor fuertemente limitativo para la actividad agrícola. En el caso español, este análisis se convierte aún en más relevante si consideramos el porcentaje de población que vive de la agricultura (casi un 10% en 1993) a pesar de que el valor añadido total apenas supere el 5% en ese mismo año.

Nuestro objetivo es estudiar el efecto del cambio climático sobre la agricultura en el contexto socioeconómico y geográfico español. Para ello utilizaremos como método base el *Ricardian approach* con el que trataremos de cuantificar los costes del cambio climático y, con posterioridad, determinar las políticas que mejoren la gestión de la tierra y su uso, de forma que se reduzca la vulnerabilidad al cambio climático y se incremente la capacidad de adaptación.

En la literatura que estudia el impacto económico del cambio climático sobre el sector agrícola, se observan fundamentalmente dos corrientes que responden a la controversia surgida en torno a la capacidad de adaptación del agricultor². La capacidad de adaptación es clave a la hora de determinar la vulnerabilidad de dicho sector frente al cambio climático, puesto que conforme mayor sea dicha capacidad menor será el impacto previsto. La primera de las líneas de investigación, que se basa en el uso de modelos agronómicos, implícitamente asume que la capacidad de adaptación es cuasi nula. En este tipo de modelos se analiza, bajo condiciones de laboratorio, los cambios en la productividad agrícola consecuencia de distintos escenarios climáticos. Bajo esta opción, se excluye totalmente la posibilidad de incorporar adaptación por

1 En general se considera que la productividad agrícola está determinada por el clima, el CO₂ atmosférico y las condiciones del suelo. La gestión inadecuada, la limitación del agua, la disponibilidad de nutrientes y la contaminación pueden disminuir la productividad potencial.

2 La adaptación engloba todas aquellas acciones conscientes encaminadas a mitigar o explotar los efectos del cambio climático.

parte del agricultor a través de cambios en sus planes y procesos productivos. Por el contrario, la aproximación agronómica presenta la ventaja de su fiabilidad en los modelos de cultivos específicos, puesto que se basa en experimentos controlados que permiten predecir los resultados de situaciones que todavía no se han producido.

La segunda línea de investigación, que se basa en el método conocido como *Ricardian Approach* (Mendelsohn *et al.* 1994), incorpora la posibilidad de que los agentes económicos involucrados en la actividad agrícola generen procesos de adaptación al mismo. Este modelo supone que el cambio climático inducirá a cambios en la utilización de la tierra, puesto que la productividad agrícola está parcialmente determinada por el clima. En particular, el *Ricardian approach* considera que el agricultor siempre utilizará la tierra en aquella actividad que genere un mayor beneficio, es decir, supone que el agricultor se adaptará a las condiciones que influyan en su actividad productiva, incluyendo las climáticas. Así este modelo asume que, bajo circunstancias competitivas (como las que prevalecen en los mercados agrarios), la probabilidad de que se genere una adaptación total privada³ es muy elevada lo que se reflejará en los beneficios obtenidos de la actividad agrícola y por tanto en el valor y precio de la tierra. Este supuesto de adaptabilidad constituye el principal trazo diferenciador del modelo Ricardiano pero también su principal desventaja ya que el supuesto de adaptación privada plena exige una rapidez en la difusión de información y tecnología que no parece factible en muchos contextos, con lo que la capacidad de adaptación podría estar sobrestimándose.

Cuando se considera la posibilidad de plantear políticas de adaptación al cambio climático se hace necesario estimar los costes que se generarán bajo el supuesto de que dichas políticas no se lleven a cabo. Es decir, la bondad de una determinada política se determina a través de comparar los costes de ralentizar o remediar el cambio climático, con los costes de no hacerlo, y en función de los resultados, establecer a cuánto puede ascender el sacrificio necesario y cuál debe ser el ritmo de la adaptación a la nueva situación, teniendo en cuenta que conforme disminuye el tiempo de adaptación mayores son los costes de la misma.

Dado que son varios los sectores que se ven directamente influenciados por el clima, y que además debemos considerar que la mayoría del resto de sectores productivos se verán afectados de una forma indirecta, parece natural considerar la necesidad de plantear estudios de impactos económicos globales que recojan los posibles efectos de interacción intersectorial en vez de utilizar modelos de equilibrios parciales. Sin embargo, estudios orientados a determinar la importancia de esta interacción concluyen que, en general, esos efectos son relativamente pequeños, lo que unido a la mayor complejidad que presentan los estudios de impacto global y que, como ya se ha mencionado, podrían resultar imprecisos justifican la utilización de modelos de equilibrio parcial frente a la búsqueda de equilibrios globales (Rosenzweig *et al.* 1994). En cualquier caso, y considerando que los efectos varían considerablemente en función de la región sometida a estudio, analizar inicialmente equilibrios sectoriales parciales puede permitir agregarlos posteriormente y conseguir de esta forma una mayor precisión, al menos en aquellos sectores con una especial dependencia, como puede ser el sector agrícola en las regiones mediterráneas. Debido a

³ Distinguimos la adaptación privada de la pública. Entendemos como adaptación privada la realizada por cada agente económico de forma individual y que responde a intereses particulares, mientras que la adaptación pública comprende todas aquellas acciones llevadas a cabo por un grupo o gobierno con el propósito de proteger los intereses de una colectividad.

la incertidumbre que afecta a las predicciones del alcance del cambio climático y a que los costes asociados al mismo no están bien definidos determinar la cuantía de estos costes puede resultar muy complicado, por ello nos limitamos al estudio de un único sector.

Además y dada la incertidumbre proveniente de las predicciones climáticas, resulta aconsejable trabajar con sectores cuyo mercado esté bien delimitado puesto que facilitan el análisis en términos de costes y beneficios. El sector agrícola se adapta a este tipo requerimiento al tratarse de un sector competitivo donde el mercado permite cuantificar los costes del cambio climático a través del precio no sólo de la tierra sino también de los productos.

II. MODELO

En una economía de mercado, el valor actualizado de los beneficios esperados de una determinada explotación agrícola queda recogido en el precio de venta de dicha explotación. Este precio incluye el valor presente de los rendimientos futuros de la tierra bajo el supuesto de que la tierra sea destinada a la actividad productiva que mayor rentabilidad económica genere. Esta rentabilidad económica depende naturalmente de las condiciones medioambientales, económicas y sociales a las que se enfrente el agricultor en cada momento. Suponer que la tierra va a ser empleada en su mejor uso implica por tanto que estamos asumiendo que el agricultor modifica sus planes productivos, bien sean a través de las compras de inputs o de los outputs producidos, adaptándose a la variabilidad de las condiciones que caracterizan la producción agrícola.

Por tanto nuestro objetivo se centrará en cuantificar la influencia de las variables climáticas, edáficas y socioeconómicas en la determinación del beneficio económico agrícola, con el objetivo de aislar el efecto del clima sobre los beneficios agrarios y medir así el impacto económico de un posible cambio climático.

Suponemos que las preferencias de los consumidores están representadas por funciones de utilidad con buen comportamiento que generan un sistema de funciones de demanda para cada uno de los productos agrícolas y que cada agricultor j decide un plan de producción Q_j , factible dada su función de producción. Esta función de producción asociada a cada producto agrícola i será cóncava y diferenciable y refleja la relación existente entre los inputs productivos $K_{i,s}$ y los factores medioambientales E_s con la cantidad de output Q_i obtenida por un agricultor j en una determinada localización s . Así representaremos la función de producción, F , de la siguiente forma:

$$Q_{i,s} = F_{i,s}(K_{i,s}, E_s)$$

Supondremos así mismo que el mercado de factores es también competitivo y por tanto el vector de precios de los factores, R , está dado. La función de costes no sólo dependerá de dicho vector, sino que también lo hará del vector de inputs medioambientales y de la tecnología existente representada por la función de producción. Por tanto representamos la función de costes, $C_{i,s}$, como:

$$C_{i,s} = c_{i,s}(Q_{i,s}, E_s, R)$$

El factor productivo tierra tiene una consideración especial y lo denotamos con L_i que representa el número de hectáreas destinadas al cultivo del bien i . Denotaremos el coste anual por hectárea por P_{EL} . Este coste recoge el coste de oportunidad por utilizar la tierra en una producción agrícola i en vez de hacerlo en la segunda mejor alternativa posible.

Finalmente, asumimos que el mercado de productos agrícolas es perfectamente competitivo y por tanto el agricultor elegirá el plan de producción Q_j que maximice el beneficio a los precios de mercado dados. Por tanto el plan de producción elegido por el agricultor j es igual a $Q_j=(0, \dots, i, \dots, 0)$ donde i es el producto agrícola que genera mayores beneficios dadas las condiciones medioambientales, económicas y productivas que condicionan al agricultor j .

Si el mercado del producto i es competitivo y el agricultor sigue una conducta maximizadora de beneficios, el agricultor seguirá la estrategia que iguale precio a coste marginal de i . Si además el mercado de la tierra como el resto es competitivo, las condiciones de equilibrio a largo plazo implicarán un nivel de beneficios cero tal que:

$$P_i Q_i - c_{i,s}(Q_{i,s}, E_s, R) - P_{EL} L_i = 0$$

Dado que la producción del bien i es el mejor uso posible de la tierra L_i , dadas unas condiciones medioambientales E_s y un vector de precios R , el coste de oportunidad de la tierra empleada en la producción del bien i debe ser igual a los beneficios netos que se obtienen con dicha producción.

$$P_{EL} L_i = P_i Q_i - c_{i,s}(Q_{i,s}, E_s, R)$$

Por otra parte, hemos supuesto que los agricultores se adaptan a las condiciones medioambientales cambiantes y que en cada periodo eligen el mejor output posible. El valor de la tierra vendrá determinado por la corriente de beneficios futuros. Denotaremos por VA al valor presente de los beneficios netos futuros descontado a una tasa r y durante un periodo de tiempo t :

$$VA = \int_0^{\infty} P_{EL} L_i e^{-rt} \delta t$$

Sustituyendo $P_{EL} L_i$ por su valor tendremos que:

$$VA = \int_0^{\infty} [P_i Q_i - c_{i,s}(Q_{i,s}, E_s, R)] e^{-rt} \delta t$$

Para calcular la variación del valor de una explotación agraria utilizada en la producción de un determinado output i deberemos tener en cuenta no sólo la variación en el precio de venta sino además las variaciones en el número de hectáreas destinadas a la producción de i . El precio de cada hectárea recoge los ingresos futuros esperados de dicha hectárea descontados al momento presente, de forma que cuanto más valiosas sean las cosechas futuras mayor será el precio de la hectárea. Pero el valor de las cosechas futuras también puede influenciar el número de hectáreas destinadas a un cultivo. Así, para evaluar el impacto de un cambio climático además de tener en cuenta el impacto sobre el precio de la hectárea también deberemos permitir que el número de hectáreas destinadas a un cultivo i varíe en función de las variaciones medioambientales, y por tanto así podremos completar el análisis del impacto económico del cambio climático.

III. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

Disponemos de datos anuales para el Estado Español desagregados provincialmente⁴ para el periodo 1983-1999. Este rango de observaciones (17 años) es el máximo disponible, permite

⁴ Ceuta y Melilla no son analizadas por la falta de continuidad y fiabilidad de sus observaciones.

que las estimaciones econométricas sean fiables, y es suficiente para neutralizar la influencia excesiva de posibles observaciones atípicas. Esto es importante en nuestro caso ya que nuestro objetivo es el análisis del impacto medioambiental a largo plazo y por tanto no resulta conveniente que las situaciones extremas ocasionales condicionen excesivamente los resultados. Sin embargo, la existencia de eventos extremos y de una fuerte variabilidad climática constituyen características intrínsecas del proceso de cambio climático por lo que tampoco podemos perder la información que estos datos aportan. Por tanto decidimos utilizar en nuestras estimaciones la máxima información disponible.

Hemos clasificado las características que afectan a la productividad agrícola en cuatro grupos: i) climáticas, ii) geográficas, iii) socioeconómicas y iv) edáficas. Cada uno de estos grupos está representado por varias variables independientes. El objetivo de estas variables es aislar la influencia de cada una de estas características sobre el valor de la tierra agrícola.

Los datos correspondientes a las variables climáticas –régimen de temperaturas y precipitaciones– han sido obtenidos del Anuario Estadístico del Instituto Nacional de Estadística (INE) para los años correspondientes al periodo de tiempo considerado. Disponemos de datos provinciales y a cada provincia le hemos asignado los datos climáticos registrados en su principal estación meteorológica. La información climática existente incluye datos mensuales, sin embargo, en nuestras estimaciones, hemos incluido únicamente las temperaturas y precipitaciones correspondientes a los meses de enero, abril, julio y octubre ya que con estas representamos las estaciones climáticas y capturamos los efectos del cambio climático de cada una de ellas⁵. Así, las variables correspondientes a las temperaturas son medias mensuales en grados centígrados, y las variables correspondientes a las precipitaciones representan el volumen de precipitación acumulado mensual, en milímetros para los mismos meses. Además de temperaturas y precipitaciones incluimos una tercera variable climática, las horas de sol, puesto que la variación del ciclo diurno modifica las productividades de los cultivos. Esta variable la representamos por “horsol” y mide las horas de sol acumuladas anualmente registradas en la estación meteorológica de referencia.

Las variables geográficas están fuertemente relacionadas con las variables climáticas y se utilizan también como variables de control para verificar la robustez del modelo. Han sido obtenidas del Anuario de Estadística del INE e incluyen: i) la “latitud”, medida en grados y minutos desde el punto más al sur de España en Las Palmas de Gran Canaria; y ii) la “longitud”, medida en grados y minutos desde el punto más al este de España en Girona.

El grupo de variables socioeconómicas incluye tres variables, en primer lugar, la renta per cápita (que denotamos por “rpc” en las tablas) que se obtuvo dividiendo la renta familiar bruta disponible entre la población de derecho calculada al 1 de julio de cada año. Ambas series se obtuvieron de la “Renta Nacional de España” de la Fundación BBVA⁶. Con esta variable pretendemos recoger tanto la capacidad de demanda de productos agrícolas por parte de los consumidores como la capacidad inversora de cada provincia.

5 Comprobamos que la inclusión de todos los meses generaba problemas econométricos como la multicolinealidad.

6 Para los años de los que no se disponía de datos interpolamos linealmente a partir de los datos inmediatamente anterior y posterior de cada provincia.

No sólo la capacidad de demanda de productos agrícolas provenientes de la propia provincia, afectará al uso de la tierra y a su precio, sino también la presión demográfica puede tener gran importancia. El modelo Ricardiano asume que la tierra siempre es asignada al uso que reporta mayores beneficios, incluyendo dentro de los posibles usos, el posible abandono de la actividad productiva agrícola y la urbanización de las zonas rurales. Por tanto, incluimos la densidad como variable explicativa. La variable “densidad” representa la densidad provincial medida como población por Km². Para construir esta variable utilizamos la variable población, obtenida como hemos dicho de la publicación “Renta Nacional de España” de la Fundación BBVA y la superficie provincial del Anuario Estadístico del INE⁷. Por otra parte, la densidad es también importante para recoger la capacidad de demanda de la propia provincia.

La última de las variables socioeconómicas analizadas –que denominamos “subven”– representa las subvenciones a la explotación en pesetas por hectárea, considerando solo aquellas que se conceden al empleo de medios de producción corrientes⁸. La variable subvención fue construida dividiendo la cuantía de las subvenciones consideradas entre el total de hectáreas agrícolas provinciales. Ambas variables fueron obtenidas del Anuario de Estadística Agraria del MAPYA⁹. Las hectáreas agrícolas provinciales incluyen tanto las hectáreas consideradas tierras de cultivo, como prados, pastizales, y terreno forestal. A través de la subvención por hectárea buscamos aislar, al menos parcialmente, el efecto que la política agraria tiene sobre las decisiones productivas de los agricultores y por lo tanto sobre sus beneficios. Puesto que la agricultura española está fuertemente subsidiada esta variable es de gran importancia a la hora de determinar el valor de la tierra.

Todas las variables que utilizan valores monetarios, como por ejemplo la renta per cápita, han sido deflactadas para eliminar el efecto nominal de su incremento. Para ello se ha utilizado como deflactor el IPC y se ha tomado como año base 1983, de esta manera, todas las variables monetarias están expresadas en pesetas constantes de 1983.

Por último, el grupo de variables edáficas lo hemos sintetizado en un Índice de Calidad del Suelo (ICS) que depende de las características productivas del suelo de cada provincia¹⁰. Este índice clasifica el suelo en cinco tipos de acuerdo con el mapa CORINE editado por el “Institut National de Topographie”¹¹ y se basa en la aptitud agronómica del suelo. A cada grupo se le asigna un valor del 1 al 5 según sea su calidad: 1 para los suelos de peor calidad y 5 para los de mejor. Se pondera cada tipo de suelo según el porcentaje que ocupe en cada provincia y se suman los resultados de las ponderaciones efectuadas. Así, obtenemos un índice para cada provincia y el resultado –un valor entre uno y cinco– lo suponemos constante a lo largo del tiempo¹².

7 No utilizamos datos censales porque los censos se actualizan en periodos de diez años con lo que no resultan ilustrativos de la evolución de la población.

8 Se excluyen las concedidas a la adquisición de bienes de capital y las indemnizaciones por pérdidas de cosechas o daños debidos a accidentes climatológicos, enfermedades, etc.

9 Para obtener la cuantía de las subvenciones también fue necesaria la colaboración con los Departamentos de Agricultura de las distintas comunidades autónomas.

10 Se utiliza el índice de calidad de suelo construido por N. Balti de la Universidad Politécnica de Madrid.

11 Este mapa utiliza la taxonomía francesa e inglesa de la FAO.

12 Aunque la realidad es que muchos de los usos de la tierra generan la degradación de la misma puesto que se alteran las condiciones del suelo afectando así a su calidad y a su productividad. Sin embargo, en el periodo de tiempo que utilizamos como referencia no se pueden percibir cambios de esa magnitud, de ahí que el ICS sea constante a lo largo del tiempo.

Nuestra variable dependiente es el valor de la tierra agrícola actualizado al momento presente (“VAT” en las regresiones). Idealmente, en situaciones de mercado competitivo, el precio de venta de la tierra por hectárea reflejaría el valor de la misma. La obtención de datos sobre precios reales de venta de tierra agrícola en España es extremadamente complicada por dos motivos, el primero es la gran escasez de transacciones realizadas y el segundo es que en las pocas transacciones que se realizan el precio de la tierra es en muchos casos subjetivo, estando influido por circunstancias personales del comprador y del vendedor (relaciones de parentesco) o por condicionamientos sociales. Por ello utilizamos como precio de la tierra los resultados obtenidos de la encuesta sobre precios potenciales de la tierra agrícola diseñada y coordinada anualmente desde 1983 por el MAPYA y desarrollada por las Comunidades Autónomas dentro de su ámbito territorial¹³. El precio medio por hectárea para cada provincia y año así obtenido es, al igual que el resto de variables monetarias, deflactado a través del IPC por lo que trabajamos con precios reales.

IV. LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Antes de realizar las estimaciones empíricas del modelo teórico debemos considerar que junto a una variación en el precio de una hectárea de tierra destinada a usos agrícolas, el cambio climático puede generar una modificación del uso asignado a dicha tierra. El cambio climático no sólo influirá en el precio de una hectárea de tierra sino también en el número de hectáreas destinadas a cada uso determinado. Nótese que la variable precio de la que disponemos, P_{it} , es el precio de una hectárea representativa de la tierra destinada a usos agrícolas en la provincia i durante el periodo t . Si la composición de cultivos de la provincia i varía la composición de P_{it} variará. Observando el efecto del cambio climático en esta variable no podemos deducir, sin embargo, cuál ha sido la evolución del valor de la tierra destinada a usos agrarios en una provincia.

La variable que recoja el valor de la tierra agrícola deberá tener en cuenta estos dos efectos del cambio climático, la variación en el precio de la tierra agrícola y la variación en el número de hectáreas destinadas a usos agrícolas. Si suponemos que el precio de venta de una hectárea, P_{it} , refleja los beneficios futuros netos actualizados que se esperan conseguir de esa hectárea, el valor actual total de la tierra destinada a usos agrícolas de una provincia lo podríamos encontrar multiplicando el precio de venta de una hectárea por el número de hectáreas dedicadas a usos agrícolas en dicha provincia. Si queremos considerar la información de las 48 provincias simultáneamente y debido al diferente tamaño de cada una de estas provincias calcularemos el valor agregado de la tierra agrícola, VAT_{it} como:

$$VAT_{it} = \frac{P_{it}HA_{it}}{HT_{it}} \quad [1]$$

El tamaño de la provincia no varía con el cambio climático por tanto HT es constante a lo largo de todo el periodo considerado y así la variación en el valor agregado de la tierra agrícola ante una variación en una de las variables climáticas $-CC-$ la podemos obtener como:

¹³ Asimismo y por falta de datos se ha tenido que excluir del estudio la comunidad autónoma de Canarias. Además de las comunidades de Extremadura y Castilla La Mancha solo se disponen de observaciones para 1996-1999 y 1992-1999 respectivamente.

$$\frac{\delta VAT_{it}}{\delta CC} = \frac{1}{HT_i} \left[\frac{\delta P_{it}}{\delta CC} \times HA_{it} + \frac{\delta HA_{it}}{\delta CC} \times P_{it} \right] \quad [2]$$

De esta forma observamos el impacto del cambio climático tanto sobre el precio de cada hectárea agrícola como sobre el número de las mismas. Concretamente a partir de la relación que obtengamos entre:

$$\frac{\delta VAT_{it}}{\delta cc} \quad \text{y} \quad \frac{\delta P_{it}}{\delta cc}$$

podremos determinar si ante una situación de cambio climático el número de hectáreas agrícolas aumenta o disminuye. Es decir, como siempre es cierto que:

$$\frac{1}{HT_i} > 0 \quad HA_{it} > 0 \quad P_{it} > 0 \quad \text{entonces si}$$

$$\frac{\delta VAT_{it}}{\delta cc} > \frac{\delta P_{it}}{\delta cc} \Rightarrow \frac{\delta HA_{it}}{\delta cc} > 0 ,$$

o lo que es lo mismo, el número de hectáreas destinadas a la producción agrícola aumentará y si:

$$\frac{\delta VAT_{it}}{\delta cc} < \frac{\delta P_{it}}{\delta cc} \Rightarrow \frac{\delta HA_{it}}{\delta cc} < 0$$

V. ANÁLISIS EMPÍRICO

V.1. Especificación del modelo

Debemos contrastar por tanto, el impacto que el cambio climático va a tener sobre la rentabilidad agraria y la posibilidad de que efectivamente se produzca un cambio en el mapa agronómico español. Para ello necesitamos estimar dos regresiones, una cuya variable dependiente sea el valor agregado agrícola de una hectárea de tierra, VAT_{it} y otra en la que utilizamos el precio por hectárea agrícola provincial P_{it} .

En la aplicación práctica del modelo teórico optamos por la transformación de la variable dependiente en su logaritmo natural puesto que genera mejores resultados econométricos. Además el principio implícito subyacente en el enfoque Ricardiano es que la forma funcional de la relación entre valor de la tierra o precio y las variables climáticas es la cuadrática, de forma que la variable dependiente presente un máximo para unas determinadas condiciones climáticas y cambios desde dichas condiciones hacen disminuir el valor agregado agrícola y/o el precio de cada hectárea. Por tanto, contrastamos si ésta era la forma funcional que mejor se ajustaba al caso español. Para ello realizamos varios contrastes¹⁴ y encontramos que la forma funcional cuadrática era la que mejor se adaptaba a las temperaturas, pero que la lineal era la idónea tanto para las precipitaciones como para las horas de sol.

¹⁴ Contrastamos una forma lineal para las variables climáticas y probamos también los resultados al utilizar en estas variables el logaritmo natural.

Así, en primer lugar estimaremos el efecto del cambio climático en el valor agregado de una hectárea de tierra destinada a usos agrícolas a través de su logaritmo natural:

$$\ln VAT_{it} = \beta_0^v + \sum_{s=1}^4 \beta_s^v T_{its} + \sum_{s=1}^4 \gamma_s^v T_{its}^2 + \sum_{s=1}^4 \lambda_s^v PR_{its} + \sum_{j=1}^n \varphi_j^v RV_{ij} + \mu_{it}$$

donde i representa la provincia bajo consideración, t el año, y s la estación climática. Así VAT_{it} es el valor agregado de una hectárea de tierra agrícola en la provincia i el año t , T_{its} la temperatura correspondiente a la estación climática s para esa provincia y ese año, PR_{its} el nivel de precipitaciones correspondiente a esa estación, provincia y año, RV_{ij} el vector variables j independientes y μ_{it} el término de error.

Y en segundo lugar estimaremos el efecto del cambio climático en el precio de venta de una hectárea de tierra agrícola también a través de su logaritmo natural, siendo el modelo a estimar:

$$\ln P_{it} = \beta_0^p + \sum_{s=1}^4 \beta_s^p T_{its} + \sum_{s=1}^4 \gamma_s^p T_{its}^2 + \sum_{s=1}^4 \lambda_s^p PR_{its} + \sum_{j=1}^n \varphi_j^p RV_{ij} + \varepsilon_{it}$$

donde en este caso P_{it} es el precio de una hectárea representativa de tierra agrícola en la provincia i el año t , y ε_{it} el término de error.

La transformación al logaritmo natural de la variable dependiente no modifica el análisis del impacto climático sobre el valor agregado agrícola. Y en lo que se refiere a la potencial modificación del destino dado a la tierra agrícola el incremento o la disminución del número de hectáreas lo podemos determinar, tal y como hemos descrito en el epígrafe anterior, comparando las estimaciones obtenidas en las regresiones de valor agregado agrícola y precio de la tierra agrícola.

Pese a que se plantea utilizar los términos lineal y cuadrático para las temperaturas contrastamos la existencia de colinealidad entre cada uno de los términos lineales y su correspondiente cuadrático. Para evitar los problemas que podía generar la colinealidad, en particular, el sesgo de los coeficientes estimados y simultáneamente mantener la estructura cuadrática para las temperaturas, transformamos las variables cuadráticas en otras que solo recogiesen la información aportada por la variable cuadrática original que no estuviera ya recogida por la correspondiente lineal. Para la construcción de esta nueva variable comenzamos estimando un modelo de la forma:

$$T_s^2 + \alpha_s + \theta T_s + \mu_s \quad \text{Con } s = \text{enero, abril, julio, octubre.}$$

A partir de estas cuatro estimaciones construimos cuatro nuevas variables mediante la suma del término constante estimado y el residuo¹⁵:

$$\tilde{T}_s + \hat{\alpha}_s + \hat{\mu}_s = T_s^2 - \hat{\theta}_s T_s$$

que, por construcción, son ortogonales con los términos lineales correspondientes y por lo tanto no pueden generar problemas de colinealidad. Utilizando estas cuatro nuevas variables en lugar de los correspondientes términos cuadráticos iniciales en la estimación del modelo tenemos que:

15 Las denotaremos como \tilde{t} , \tilde{t}_a , \tilde{t}_j y \tilde{t}_o respectivamente.

$$VAT_{it} = \beta_0 + \sum_{s=1}^4 \beta_s T_{its} + \sum_{s=1}^4 \gamma_s \tilde{T}_{its} + \sum_{s=1}^4 \lambda_s PR_{its} + \sum_{j=1}^n \varphi_j RV_{itj} + \mu_{it}$$

A continuación, deshacemos los cálculos para obtener los coeficientes estimados para las variables originales, tanto las lineales como las cuadráticas y obtenemos:

$$VAT_{it} = \beta_0 + \sum_{s=1}^4 (\beta_s - \gamma_s \hat{\theta}_s T_{its}) + \sum_{s=1}^4 \gamma_s T_{its}^2 + \sum_{s=1}^4 \lambda_s PR_{its} + \sum_{j=1}^n \varphi_j RV_{itj} + \mu_{it}$$

Por tanto, basta con recalcular los coeficientes correspondientes a los términos lineales para determinar la influencia de las temperaturas sobre el valor agregado agrícola.

Las estimaciones para los términos:

$$\frac{\delta \ln VAT_{it}}{\delta CC} \quad \text{y} \quad \frac{\delta \ln P_{it}}{\delta CC}$$

las obtenemos a partir de las regresiones que utilizan como variables dependientes $\ln VAT_{it}$ y $\ln P_{it}$ respectivamente. Para ello, consideramos el cambio climático de forma independiente para las temperaturas y para las precipitaciones. Para este último caso, basta con comparar los coeficientes estimados:

$$\sum_{s=1}^4 \lambda_s^v \quad \text{y} \quad \sum_{s=1}^4 \lambda_s^p$$

y dependiendo de cuál sea mayor el número de hectáreas agrícolas aumentará o disminuirá en lo que se refiere a las precipitaciones. Sin embargo, para el caso de las temperaturas tenemos:

$$\frac{\delta \ln VAT_{it}}{\delta T} = \sum_{s=1}^4 \beta_s^v + 2 \sum_{s=1}^4 \gamma_s^v T_{its}$$

$$\frac{\delta \ln P_{it}}{\delta T} = \sum_{s=1}^4 \beta_s^p + 2 \sum_{s=1}^4 \gamma_s^p T_{its}$$

Así, el número de hectáreas destinadas a la producción agrícola aumentará bajo el supuesto de un aumento de las temperaturas si:

$$\sum_{s=1}^4 \beta_s^v + 2 \sum_{s=1}^4 \gamma_s^v T_{its} > \sum_{s=1}^4 \beta_s^p + 2 \sum_{s=1}^4 \gamma_s^p T_{its}$$

V.2. La diferenciación entre secano y regadío

Los primeros trabajos que utilizaron el *Ricardian Approach* no incluyeron la interrelación existente entre el sector agrícola y sus exigencias de agua, de forma que en ausencia de alguna variable que recogiera las potenciales restricciones de agua, implícitamente se estaba asumiendo que la oferta de agua era infinitamente elástica a los precios fijos dados en el periodo de tiempo bajo estudio¹⁶. Se trataba pues de un equilibrio parcial al menos en lo que se refiere a la agricultura de regadío. Sin embargo ignorar la influencia de la disponibilidad de agua para el caso español puede

16 Cline, W. (1996).

generar coeficientes de influencia demasiado sesgados, puesto que el regadío español supone más del 50% de la Producción Final Agrícola y por tanto es determinante para la renta agraria.

Por esto, planteamos la posibilidad de generar dos modelos totalmente diferenciados, uno para la agricultura de secano y otro para la de regadío. Se trata de observar si efectivamente existen dos estructuras distintas en la formación del valor de la tierra de secano y del valor de la tierra en regadío. En el supuesto de que se verificase que la formación de ambos valores siguen patrones de conducta suficientemente diferentes, la utilización de dos modelos independientes permite que el ajuste del valor respecto de las variables climáticas en particular sea mucho mejor y con ello, se puede esperar que las estimaciones de los potenciales daños de un cambio climático sean mucho más fiables.

Para calcular el valor de la tierra agrícola en secano y regadío utilizamos los precios correspondientes previamente definidos y la serie de número de hectáreas agrícolas utilizada en la variable de subvención a la explotación, aunque para esta variable diferenciamos entre las hectáreas que corresponden al secano y las que corresponden al regadío¹⁷. Las dos variables resultantes son las que utilizamos como variables dependientes en nuestra regresión principal.

VI. LAS ESTIMACIONES FINALES: LAS IMPLICACIONES DEL EFECTO INVERNADERO

Los resultados de las estimaciones se muestran en el anexo¹⁸. En principio, el porcentaje del beneficio agrícola que conseguimos explicar a través de los modelos planteados es razonablemente elevado. Para el modelo de secano se explica un 58,3% mientras que en el de regadío es un 55,3% y en ambos casos los contrastes de significatividad global del modelo son claros en la aceptación de la misma.

Nótese, sin embargo, que el cambio climático no sólo afectará a cambios en el precio de una parcela determinada sino también lo hará respecto al tamaño de la parcela, es decir, respecto al volumen de hectáreas cultivadas. Para medir la influencia del cambio climático sobre el valor de la tierra debemos considerar no sólo su efecto sobre el precio sino también sobre el número de hectáreas cultivadas. Para determinar el efecto global utilizamos como variable dependiente principal la que hemos definido como valor agregado de la tierra agrícola. Sin embargo, para analizar el efecto del cambio climático sobre el aprovechamiento dado a la tierra de forma aislada, realizaremos un segundo grupo de regresiones en las que la variable dependiente será el precio de cada hectárea y el conjunto de variables independientes será el mismo utilizado en el primer conjunto de regresiones. A través de la comparación entre los coeficientes de las variables climáticas obtenidos en uno y otro grupo de regresiones podemos determinar cuál será la tendencia de aprovechamiento de la tierra consecuencia del cambio climático, si hacia los cultivos de secano, de regadío o hacia la transformación de tierras agrícolas en no agrícolas.

Respecto a las temperaturas, en el modelo de secano todos los términos lineales salvo el de enero son significativos, pero el término cuadrático de este último, al contrario que el resto de

¹⁷ Se considera que una hectárea es de regadío si es regada de forma artificial al menos una vez durante el año agrícola.

¹⁸ Los contrastes de significatividad que aparecen para las variables de temperatura lineales son los obtenidos para las variables estimadas no los correspondientes a las variables recalculadas cuyo coeficiente sí es el que se muestra en el anexo.

los términos cuadráticos, sí es significativo. Esto nos lleva a suponer que la relación existente entre la temperatura anual y los beneficios agrícolas presenta una curvatura muy suave salvo para los meses de invierno y que para el resto de estaciones estamos estimando en un rango de variación en el que la relación es lineal. En el modelo de regadío, son significativas las temperaturas correspondientes al invierno, primavera y verano y solo encontramos una curvatura más significativa para abril. En ambos modelos un incremento de las temperaturas en invierno y otoño resultaría beneficioso pero difieren respecto a las otras dos estaciones, así, mientras que para la agricultura de secano temperaturas más altas en primavera resultarían beneficiosas, mayores temperaturas durante el verano disminuirían los beneficios agrícolas esperados, y al modelo de regadío le ocurre lo contrario, es decir mayores temperaturas en primavera conducen a una disminución de los beneficios mientras que estos aumentarían con veranos más calurosos.

La hipótesis planteada al respecto de la menor vulnerabilidad de la agricultura de regadío frente a la de secano ante un cambio climático se ve confirmada en las variables que recogen las precipitaciones que están directamente relacionadas con las necesidades de riego artificial. Así, mientras que en el modelo que describe la agricultura de secano son significativas las temperaturas de enero, abril y octubre y todas ellas indican que la disminución de las precipitaciones resultarán perjudiciales para la producción en secano, en el modelo de regadío aunque los coeficientes también indican la misma tendencia ante perturbaciones en el nivel de precipitaciones, tan solo resultan influyentes las lluvias caídas en verano y, este resultado probablemente esté recogiendo los problemas de la mitad sur de España donde las bajas precipitaciones a lo largo de todo el año mantienen los pantanos a niveles muy inferiores a su capacidad y por lo tanto, en ocasiones, hay restricciones en lo que se refiere a disponibilidad de agua para riego.

La tercera de las variables climáticas, las horas de sol, es fuertemente significativa en ambos modelos, si bien su influencia radicalmente distinta. Mientras que en el modelo de secano el incremento de las horas de sol anuales supondría menores beneficios, en el modelo de regadío conduciría a un incremento de los mismos. La influencia negativa de las horas de sol sobre la agricultura de secano, puede tener una explicación geográfica. En el norte de España se considera que casi toda la agricultura es de secano, esto es así debido al alto índice de precipitaciones que presentan que les permite producir productos de alto valor añadido (que en el resto de España requieren de riego artificial) dentro de lo que definimos como secano y por lo tanto, el precio de las hectáreas de secano en esta parte de España es más elevado que en el resto. Al mismo tiempo, esta zona presenta también un número de horas de sol anual sensiblemente inferior a los niveles que se registran en el centro o en el sur por lo que la estimación econométrica puede estar recogiendo esta situación.

Contrastamos este supuesto mediante las variables geográficas que nos lo confirman. La latitud tiene una influencia positiva en el modelo de secano priorizando así el secano del norte frente al del sur y la influencia positiva en el regadío se explica a través del alto valor añadido de toda la producción agrícola de la costa mediterránea. Este efecto es también corroborado con el signo de la longitud que efectivamente, es fuertemente significativa en el modelo de regadío y con una influencia negativa, es decir, conforme nos alejamos de la costa mediterránea menor es el valor de los regadíos. Además en el modelo de secano la longitud es significativa pero positiva por lo tanto vuelve a confirmar el alto valor añadido de la agricultura de secano en la cornisa cantábrica.

El signo y la influencia de la renta per cápita y de la densidad están determinadas por la posibilidad de que el cambio climático genere una transferencia de hectáreas entre el secano, el regadío o el cambio desde un aprovechamiento agrícola a otro no agrícola. Así, que la renta per cápita tenga un signo negativo en el modelo de regadío parece indicar que se está produciendo un cambio de tierras de secano a tierras de regadío gracias a una mayor capacidad inversora de la provincia. De este modo se estarían introduciendo nuevas hectáreas en el regadío cuya productividad marginal debe ser inferior a la ya existente y, por tanto, se debe estar generando una disminución de la productividad media y del valor agregado.

Respecto a la variable de población solo resulta significativa en el modelo de secano, mostrando una influencia positiva. Esta variable recoge principalmente un factor de demanda de tierra puesto que conforme mayor sea la población más cantidad de tierra dejará de ser utilizada para la agricultura y pasará a ser utilizada como tierra urbanizable. En este proceso, cabe esperar que sea la tierra de peor calidad la que antes deje de ser cultivada y esto explica que afecte al modelo de secano mientras que el modelo de regadío no se ve afectado por ello. Además, esta influencia debe ser positiva puesto que al utilizarse primero para usos alternativos las tierras poco productivas, la productividad media de las restantes aumenta y, por considerar mercados competitivos, lo mismo ocurre con la remuneración de estas hectáreas.

Las subvenciones son en ambos modelos fuertemente significativas y sorprendentemente, al menos al principio, muestran un coeficiente negativo, lo que parece indicar que las mayores subvenciones tienen un efecto negativo sobre el valor agregado, bien sea de secano bien de regadío. Sin embargo, interpretando el valor agregado como el beneficio futuro esperado actualizado al momento presente y considerando que, habitualmente las subvenciones son concedidas a explotaciones cuya rentabilidad no es elevada, el signo negativo estaría indicando esta relación, es decir, que si una explotación agrícola recibe una subvención es debido a que sus beneficios esperados no se prevén que vayan a ser elevados y por ello su precio de venta tampoco puede serlo. De esta forma la subvención está funcionando como una señal de mercado y al mismo tiempo muestra la vulnerabilidad de los beneficios esperados respecto de la política agraria. Además las subvenciones por hectárea no suponen un porcentaje elevado del potencial precio de venta de la tierra por lo que la posible influencia positiva bajo esta perspectiva tiende a ser pequeña.

Por último, la variable que recoge la calidad del suelo tiene el comportamiento previsto, es decir, es fuertemente significativa y su influencia positiva, independientemente de cualquier efecto indirecto en lo que respecta al cambio en el uso de la tierra, conforme mejor sea ésta mayores son sus potenciales beneficios y mayor será el precio de venta. Destaca además que el coeficiente de influencia es el mayor, y muy parecido, en ambos modelos.

A partir de los coeficientes estimados para las variables climáticas y en sus versiones de secano y regadío podemos observar que, dadas las temperaturas medias anuales registradas en la geografía española, el número de hectáreas destinadas a aprovechamientos de secano se verá disminuido con un cambio climático que genere un incremento de las temperaturas mientras que el número de hectáreas que se van a destinar a regadío se incrementará.

Esta transferencia de hectáreas viene a confirmar la hipótesis básica de nuestro modelo, es decir, nuestro supuesto de que la adaptación del agricultor a las condiciones medioambientales que le afectan es máxima, de manera que conforme más acusado sea el cambio climático mayor cantidad de tierra será destinada al regadío que, tal y como hemos observado en el análisis empí-

rico, presenta una vulnerabilidad mucho menor a una situación de cambio climático. Sin embargo, habría que contrastar si toda la disminución de las hectáreas de secano se destina al regadío o si parte de esas hectáreas pasan a ser utilizadas para destinos no agrícolas. Esto podemos contrastarlo mediante un análisis de la variación de las hectáreas agrícolas totales y resultados preliminares muestran que los resultados varían dependiendo de la provincia con la que trabajemos.

Por último, debemos considerar además, que el cambio climático previsto no se limita a un aumento de las temperaturas sino que también se espera mucha más variabilidad y una frecuencia mucho mayor de los eventos extremos que tendrán una repercusión mayor sobre la agricultura de secano que sobre la de regadío. En la estimación de nuestros modelos no hemos tenido en cuenta ni la variabilidad climática ni la posibilidad de eventos extremos porque la fiabilidad de las predicciones al respecto es mucho menor que la conseguida respecto a las medias.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, R. M. (1989): “*Global Climate Change and Agriculture: An Economic Perspective*”. American Journal Agriculture Economics: 1272-1279.
- CLINE, W. R. (1996): “*The Impact of Global Warming on Agriculture: Comment*”. The American Economic Review 86(5): 1309-1311.
- DARWIN, R. (1999): “*The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Comment*”. The American Economic Review 89(4): 1049-1052.
- FUNDACIÓN BBVA: “*Renta Nacional de España*”.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA: “*Anuario Estadístico 1984-2000*”.
- MENDELSON, R., NORDHAUS, W. y SHAW, D. (1994): “*The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Approach*”. American Economic Review 84(4): 753-771.
- MENDELSON, R., NORDHAUS, W. y SHAW, D. (1996): “*Climate impacts on aggregate farm value: accounting for adaptation*”. Agricultural and Forest Meteorology 80: 55-66.
- MENDELSON, R. y NORDHAUS, W. (1996): “*The Impact of Global Warming on Agriculture: Reply*”. The American Economic Review 86(5): 1312-1315.
- MENDELSON, R. y NORDHAUS, W. (1999): “*The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Reply*”. The American Economic Review 89(4): 1046-1048 y 1053-1055.
- MENDELSON, R. NEUMANN, J. E. Ed. (1999): “*The Impact of Climate Change on the United States Economy*”.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN: “*Anuario de Estadística Agraria 1984-2000*”.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN: “*Boletín Mensual de Estadística Agraria*”.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN: “*Plan Nacional de Regadíos*”.
- QUIGGIN, J. y HOROWITZ, J. K. (1999): “*The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Comment*”. The American Economic Review 89(4): 1044-1045.
- SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, P. (1986): “*La encuesta de Precios de la tierra del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*”. Agricultura y Sociedad 41 (octubre-diciembre): 187-207.

ANEXO

Modelo V. Ind	VATsec		Psec		VATreg		Preg	
	Coeffe.	t	Coeffe.	t	Coeffe.	t	Coeffe	t
Cte.	15,738	8,216	8,525	4,823	4,190	1,411	12,651	7,207
Tenero	0,1034	,621	0,0854	1,940	0,109	3,846	0,0628	3,926
Tenero ²	-6,5E-03	-2,552	-4,0E-03	-1,73	-1,7E-03	-,467	-7,9E-04	-,365
Tabril	0,0383	-1,685	0,0206	-1,09	-0,174	3,558	-0,0751	,409
Tabril ²	-2,6E-03	-1,003	-1,5E-03	-,614	1,05E02	2,695	3,2E-03	1,425
Tjulio	-0,0778	2,641	-0,0828	2,478	0,254	2,563	-0,0381	,058
Tjulio ²	2,77E-03	,903	2,7E-03	,966	-4,0E-03	-,866	8,4E-04	,309
Toctubre	0,1022	4,216	0,1005	4,044	0,0897	,701	3,6E-02	2,486
Toctubr ²	-9,4E-04	-,390	-1,1E-03	-,520	-2,3E-03	-,664	-3,0E-03	-1,45
PRenero	1,16E-03	2,444	9,05E-04	2,06	3,4E-04	,454	1,7E-04	,399
PRabril	1,83E-03	3,171	1,33E-03	2,500	3,5E-04	,354	7,9E-04	1,32
PRjulio	7,48E-05	,065	-2,0E-04	-,188	3,9E-03	1,981	1,0E-03	,911
PRoctrubr	1,25E-03	3,23	1,11E-03	3,130	7,6E-04	1,258	8,4E-04	2,345
Horsol	-8,5E-04	-7,339	-7,2E-04	-6,72	8,6E-04	4,649	-7,5E-05	-,687
Latitud	8,57E-04	1,925	1,15E-03	2,816	3,0E-03	4,748	1,2E-04	,345
Longitud	1,27E-03	6,154	1,07E-03	5,612	-1,1E-03	-3,779	-6,1E-04	-3,26
Rpc	1,13E-06	3,564	9,68E-07	3,304	-1,2E-06	-2,428	-1,6E-07	-,542
Densidad	7,49E-04	3,601	8,07E-04	4,203	3,1E-04	,977	8,7E-04	4,552
Subven	-1,5E-05	-1,885	-1,8E-05	-2,36	-7,0E-05	-5,638	-5,9E-05	-8,05
ICS	,228	5,981	,216	6,135	,241	4,257	,174	5,206