

Documento de trabajo:

*Las energías renovables: medida de la evolución  
del sector en Europa*

**Ángel Díaz Chao y José Luis Montes Botella**

Universidad Rey Juan Carlos

# LAS ENERGÍAS RENOVABLES: MEDIDA DE LA EVOLUCIÓN DEL SECTOR EN EUROPA<sup>1</sup>

Ángel Díaz-Chao

[angel.diaz@urjc.es](mailto:angel.diaz@urjc.es)

Departamento de Economía Aplicada I  
Universidad Rey Juan Carlos (URJC)  
Madrid (España)

José Luis Montes

[joseluis.montes@urjc.es](mailto:joseluis.montes@urjc.es)

Departamento de Economía Aplicada I  
Universidad Rey Juan Carlos (URJC)  
Madrid (España)

## Resumen

Uno de los principales problemas a la hora de la construcción de un índice es la elaboración de los pesos que ponderan cada variable. En este artículo, mediante modelos basados en la metodología propuesta en Díaz y Montes (2006) se desarrolla un índice para la medición de la evolución de las energías renovables para un conjunto de países de la Unión Europea. Los resultados muestran que, en Europa, existen dos grupos claramente diferenciados en cuanto su grado de desarrollo de la energía renovable. Con respecto a España, nuestra economía desde la óptica renovable, se ha desarrollado, en 2007, gracias en un 80% a la industria renovable no fotovoltaica. Mientras que la fotovoltaica tiene un peso del 20%.

**Palabras Clave.-** Modelización econométrica; renovables; energía fotovoltaica; Política energética.

**JEL.-** Q42; Q5; C43.

---

<sup>1</sup> Los autores desean agradecer la colaboración que en esta investigación han tenido la Asociación Empresarial Fotovoltaica y la consultora Equipo Económico. El presente artículo deriva de un trabajo de investigación realizado, en colaboración con la Consultora Equipo económico, para la Asociación Empresarial Fotovoltaica.

## Índice de contenidos

1. Introducción	3
2. Situación del sector: marco regulatorio	6
3. El sector fotovoltaico: estructura y externalidades	10
3.1. Costes	10
3.2. Externalidades	12
4. Problemática de la construcción de índices: una propuesta metodológica	15
4.1. Metodología: el modelo general de sistemas de ecuaciones estructurales	19
5. Fuentes estadísticas y selección de variables	22
6. Construcción del Índice Verde	26
6.1. Especificación del Índice Verde	26
6.2. Estimación del Índice Verde	28
7. Cálculo del Índice Verde con base 2007	31
8. Índice Verde: Avance 2008, Predicción 2009	34
9. Consideraciones Finales	37
10. Anexo Econométrico	41
11. Bibliografía	48

## 1.- Introducción

La creciente toma de conciencia pública de un posible cambio climático y su efecto en la economía global, unida a la progresiva escasez de los recursos naturales y a la excesiva dependencia de muchos países -entre los que España es lamentablemente un ejemplo destacado- de fuentes energéticas externas ha promovido un creciente interés en fuentes de energía domésticas, limpias y seguras.

Ante esta situación, se está produciendo, en los países más avanzados del mundo, un movimiento hacia la producción energética interna mediante fuentes de energía renovables; persuadidos de sus bondades y de las ventajas competitivas que les otorgaría ser pioneros en el desarrollo de estas nuevas tecnologías.

Esto supone que la discusión acerca de la mayor o menor conveniencia del uso de energías renovables no debe de hacerse simplemente en términos de costes de producción sino desde una perspectiva más amplia, que cubra el necesario cambio estructural del sistema de suministro energético y de un análisis de las industrias implicadas en él junto con las consecuencias favorables, tanto en términos de externalidades, para toda la sociedad como en generación de empleo (Kammen, D. M. et al. 2004), (Krazat, M y Lehr, U. 2007).

Dentro de las energías renovables el mercado solar fotovoltaico es uno de los más prometedores, con un potencial de desarrollo ciertamente notable. A nivel mundial ha tenido un crecimiento extraordinario a lo largo de la última década pasando de 2,4 GW en 2007 a 5,8 GW en 2008. Este incremento ha sido ayudado por el compromiso de la Unión Europea de reducir la emisión de gases de efecto invernadero desempeñando un papel importante en la implantación del protocolo de Kyoto y en la introducción del comercio de certificados verdes.

No obstante y a pesar de la importancia de la energía solar fotovoltaica esta presenta, al igual que los otros tipos de energía renovable, obstáculos de

naturaleza estructural para su implantación. Por una parte, los sistemas actuales de generación y distribución de energía (carbón, petróleo, gas natural y energía nuclear) y su sistema de distribución están centralizados. Por otra, su desarrollo requiere inversiones significativas, como fue el caso de las fuentes de energía tradicionales como el carbón, el petróleo o la nuclear en sus comienzos.

Por tanto, el desarrollo regular y armónico del sector requiere el apoyo de las políticas públicas y una continua monitorización de su desarrollo y de las variables que influyen en él. A tal fin se propone el índice objeto de este trabajo.

Para la construcción del índice desarrollaremos una exposición metodológica de los modelos de ecuaciones estructurales con variables latentes que permitirá la construcción de un índice de forma objetiva donde los pesos de las variables son fijados por el propio modelo econométrico. Tal y como se expone más adelante, esta metodología evita alteraciones del índice construido por razones subjetivas del investigador.

El *Índice Verde* construido nos permitirá, en primer lugar, situar a España en las primeras posiciones del Índice Verde. Además, y en segundo lugar, podremos detectar las características del sector en relación a los principales países europeos. Por último, podremos seguir la evolución del sector año a año y detectar las principales deficiencias así como los puntos fuertes del desarrollo de las energías renovables, en general, y de la fotovoltaica en particular.

A continuación, iniciaremos el análisis situando el marco regulatorio que afecta al sector para comprender la situación actual en la que se encuentra la industria fotovoltaica. Posteriormente, analizaremos la estructura de esta industria analizando especialmente las externalidades que genera la energía limpia. Esto nos conducirá a la propuesta nuestra metodológica donde debatiremos la problemática de construcción de índices y propondremos una metodología basada en los sistemas de ecuaciones estructurales con variables latentes. Esta metodología permitirá la elaboración de un Índice Verde centrado en la industria fotovoltaica. Así, un análisis de las fuentes estadísticas permitirá

la construcción del mismo y situar la industria renovable en España desde la óptica fotovoltaica.

## **2. Situación del sector: marco regulatorio**

El uso eficiente de la energía y la reducción de la dependencia energética de España con el extranjero ha sido, y es, uno de los objetivos prioritarios de la política energética del país. La consecución de estos objetivos se hizo aún más apremiante por las sucesivas crisis del petróleo, promulgándose una serie de planes energéticos apoyados en la correspondiente legislación que ha tratado de favorecer su logro.

Así, la segunda crisis del petróleo que tuvo lugar en 1979 motivó al año siguiente la promulgación de la ley 82/1980 de conservación de la energía; cuyos objetivos eran mejorar la eficiencia energética de la industria y la reducción de la dependencia energética del exterior. Consecuencia de dicha ley fueron el fomento de la autogeneración eléctrica y la construcción de pequeñas centrales para la producción hidroeléctrica; aprovechándose, de forma prácticamente exhaustiva, los recursos hidráulicos del país.

Estos objetivos fueron recogidos posteriormente en el Plan Energético Nacional 1991-2000 que establecía la incentivación de la producción de energías renovables y de la cogeneración con el objetivo de aumentar la producción eléctrica nacional del 4,5% al 10% en el año 2000.

La ley 40/94 de Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional (LOSEN) consolidó el concepto de instalaciones, para la generación de energía, en régimen especial -cuyos principios fueron recogidos en el Real Decreto 2366/1994 de 9 diciembre- sobre producción de energía eléctrica por instalaciones hidráulicas, de cogeneración y otras abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables. En él se incluían, dentro del régimen especial de producción de energía eléctrica, instalaciones pertenecientes a: nuevas instalaciones renovables, residuos, biomasa, plantas de cogeneración, plantas que utilizan calor residual y centrales hidráulicas que tuvieran una potencia menor o igual a 100 MVA. El excedente de generación de estas instalaciones podía ser vendido a la empresa distribuidora más próxima, que tenía la obligación de adquirirla siempre que fuera técnicamente viable. El precio constaba de un término de potencia y de un término de energía, junto con sus complementos

correspondientes, y se fijaba en función de las tarifas eléctricas, dependiendo de la potencia instalada y del tipo de instalación.

La diferenciación entre los productores de energía eléctrica en régimen ordinario que desarrollan su actividad en el mercado de producción y los productores acogidos al régimen especial, con una potencia instalada menor o igual a 50 MW apareció en la ley del sector eléctrico 54/97 del 27 noviembre. Esta ley contemplaba para las instalaciones en régimen especial dos alternativas: a) incorporar su energía excedentaria al sistema (según se establecía en la ley 40/94 anterior) al precio medio final del mercado más una prima, b) bien venderla directamente en el mercado, percibiendo en este caso, aparte de la prima, el precio marginal horario y una remuneración por garantía de potencia y servicios complementarios en su caso. Posteriormente, la regulación de la retribución de la energía vertida en régimen especial fue contemplada en el real decreto 2818/1998.

En el Plan de Fomento de Energías Renovables (PFER), aprobado el 30 diciembre 1999, se establecieron los objetivos de crecimiento para cada una de las tecnologías consideradas como renovables; dentro del objetivo global de una generación de 12% del consumo total para estas energías en el año 2010.

Desde entonces, una serie de reales decretos han tratado de orientar e incentivar este tipo de generación de energía. De este modo, se promulgaron: el real decreto-ley 6/2000, de 23 junio, de medidas urgentes para la intensificación de la competencia en mercados de bienes y servicios, el real decreto 1663/2000, de 29 septiembre, sobre la conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión, el real decreto 841/2002, de 2 agosto, que regula a las instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial, los incentivos en su participación en el mercado de producción así como sus obligaciones de información de sus previsiones de producción y adquisición por los comercializadores de su energía eléctrica producida.

El real decreto 436/2004, de 12 marzo, estableció un nuevo método para la actualización y sistematización de los regímenes jurídico y económico de la producción de energía eléctrica en régimen especial. En el cual la revisión de

las tarifas primas e incentivos se llevaría a cabo cada 4 años a partir de 2006 y sólo afectaría a nuevas instalaciones.

El 26 agosto 2005 fue aprobado el plan de energías renovables 2005-2010 que contenía, entre sus objetivos, un conjunto de medidas orientado a incrementar el potencial de generación eléctrica en España mediante energías renovables.

Estos objetivos se pueden resumir en: a) reducción de las emisiones de dióxido de carbono, contribuyendo al cumplimiento de los acuerdos del Protocolo de Kyoto y de los acuerdos que se derivan de nuestra pertenencia a la Unión Europea, b) reducción de la dependencia energética nacional aumentando su seguridad y calidad y c) fomento del desarrollo tecnológico, que permita aumentar la eficiencia en la generación de energía mediante este tipo de tecnologías y, de un modo general, d) contribuir a la estrategia de ahorro y eficiencia energética en España.

Dentro del plan anterior, una de las energías que se consideraron de mayor interés ha sido la solar fotovoltaica, cuyo objetivo de potencia se amplió de 150 MW a 400 MW, que fue considerada como de régimen especial y sujeta a un nuevo marco retributivo, mediante tarifa regulada (véase Real Decreto 661/2007 del 25 mayo y artículos 27 y ss. de la Ley del Sector Eléctrico de 1997).

Además de contribuir a los objetivos de política energética mencionados anteriormente, este incremento ha estimulado la inversión en las tecnologías relacionadas con la industria solar fotovoltaica, determinando que actualmente se puedan producir en España prácticamente todos los componentes y materiales necesarios para la construcción de una instalación de este tipo.

La nueva regulación produjo un rápido incremento de la potencia instalada, que alcanzó, en cuestión de meses, los 371 MW totales previstos en el plan de energías renovables 2005-2007. Alcanzándose ya en mayo de 2008 los 400 MW de potencia instalada.

El haberse sobrepasado rápidamente los objetivos marcados dentro de la estrategia energética determinó, de nuevo, la modificación del marco legislativo, mediante el Real Decreto 1578/2008 de 26 septiembre en el que se

alteró el régimen retributivo para la energía generada mediante este tipo de tecnología y se fijaron nuevos objetivos para la potencia instalada.

En la exposición de motivos de este decreto figuran los objetivos siguientes: a) dar continuidad y expectativas a las inversiones realizadas, b) establecer una secuencia de implantación de este tipo de tecnología, c) contribuir al cumplimiento no sólo de los objetivos del plan de energías renovables 2005-2010 sino del 2011-2020, según los asignados a España en la nueva Directiva de energías renovables de la Unión Europea, d) proponer un objetivo anual de potencia cuya evolución se fijará en función de la evolución tecnológica, según mejore la tecnología, abandonando el criterio de la potencia total acumulada, e) crear un nuevo régimen económico que estimule la evolución tecnológica y la competitividad de las instalaciones fotovoltaicas en España a medio y largo plazo f) modificar la retribución a la baja de acuerdo con la evolución esperada de la tecnología de forma que se eviten tanto las retribuciones insuficientes, que harían inviables las inversiones, como las excesivas, que repercutirían en costes excesivos para el sistema eléctrico g) reconoce las ventajas de las instalaciones integradas en edificios al no aumentar la ocupación del territorio y fomentar la generación distribuida y difusión social, h) incluye a las instalaciones de carácter agropecuario excluidas en el R.D. anterior i) establece la inscripción en un registro de asignación de retribución, en un momento inicial de desarrollo del proyecto, con el fin de dar seguridad jurídica a los promotores de la instalación respecto a la retribución, una vez puesta en funcionamiento y j) establece una nueva definición de potencia orientado a una mayor precisión en la evaluación de de la potencia de cada instalación.

Aunque dichos objetivos constituyen un marco razonable, investigaciones preliminares, aunque no exhaustivas pero si cuidadosas y sistemáticas, han revelado hasta el momento que la aplicación del decreto está suscitando fuertes críticas y graves perjuicios económicos entre las empresas del sector. Por ello, con el fin de eliminar la componente de subjetividad de este tipo de valoraciones se propone en este trabajo un índice que se espera registre de forma objetiva su evolución, determinando así el grado en que la nueva legislación es verdaderamente adecuada a los objetivos expuestos.

### 3.- El sector fotovoltaico: costes y externalidades

#### 3.1.- Costes

La generación de electricidad produce externalidades en el medio ambiente, que varían considerablemente dependiendo del tipo de energía y de la tecnología empleada en su generación.

Los costes de los daños causados por la contaminación producida por las formas convencionales de generación de energía -tales como los costes para la salud, el daño al medio ambiente, el consumo de recursos naturales y los posibles perjuicios a la actividad económica en general- son denominados **costes externos**, y no están reflejados en los precios de la energía pagados por sus consumidores directos sino que son soportados por toda la sociedad.

Estos costes externos, al no ser asumidos por los productores, actúan como subsidios indirectos para algunas formas convencionales de generación energética. Situación que produce varios inconvenientes importantes, entre otros: a) impide el evaluar los costes reales de la energía, b) altera la percepción que la sociedad tiene de estos costes y c) obstaculiza el desarrollo de formas alternativas de generación energética.

Al contrario que las energías convencionales -tales como las generadas a partir de los combustibles fósiles- las energías renovables incurren en una fracción mínima de estos costes externos y no causan serios daños a la salud humana.

De lo anterior se desprende que la correcta evaluación del coste de generación de la energía debe incluir las externalidades (tratadas más abajo) de las diferentes formas de producirla. Por tanto, el coste, y por tanto el precio, debería establecerse considerando tanto los costes directos de la generación privada como los costes para la sociedad; es decir incluyendo las externalidades. De modo que el precio de cualquier tipo de energía debería contener sus costes de generación y distribución junto con el posible daño medioambiental, a nivel local regional y global.

El análisis de la situación en España con respecto a los criterios anteriores revela un mercado eléctrico con fuertes distorsiones que deben ser corregidas para una planificación eficiente de las necesidades energéticas del país

En este caso, el coste de la generación de energías renovables puede ser competitiva frente a otras formas de generación; y es que la viabilidad económica de estas fuentes de energía depende de la eliminación de las distorsiones en el mercado.

Dos problemas son de particular importancia en los sistemas de energía actuales: su efecto en la degradación ambiental, que surge en la utilización de los combustibles fósiles y los problemas de seguridad asociados con el suministro del petróleo. En la medida en que los costes de la contaminación no son asumidos por el que contamina y que los gobiernos asumen la garantía de seguridad de suministro del petróleo este tipo de energías están siendo subsidiadas indirectamente. Con respecto a los dos problemas anteriores las energías renovables presentan una posición muy favorable.

### 3.2.- Externalidades

Las externalidades se definen como beneficios o costes generados por una actividad económica que no recaen en las partes directamente implicadas en ella y para los que no existe compensación.

En una economía de mercado las decisiones respecto a qué se produce, cómo y en qué cantidades de un determinado producto se toman considerando únicamente los denominados *costes privados* entre los que se incluyen los costes de las materias primas, de producción, de operación y de distribución.

No obstante, como se apuntó anteriormente, existen además otros costes y beneficios que recaen sobre la sociedad y el medio ambiente y que no están incluidos dentro de la estructura de precios del producto de los ocasiona. Estos costes o beneficios, en su caso, son las **externalidades** que son generadas inintencionadamente como un subproducto de la actividad y que se manifiestan a través de cambios en el entorno físico y biológico. Si por cualquier procedimiento el coste, o beneficio, es repercutido en su productor se dice de la externalidad ha sido *internalizada*.

Las externalidades se suelen clasificar en medioambientales y socioeconómicas

Así, la polución emitida por las centrales eléctricas que operan con combustibles fósiles causan daño a las personas y al entorno; y en la medida en que del consumidor último de un producto no paga los costes medioambientales y tampoco compensa las personas por el daño que les causa, no hace frente al coste total de los servicios que compra (es decir la energía que consume está siendo subsidiada implícitamente y por tanto la asignación de los recursos es ineficiente).

Una evaluación adecuada del precio de la energía debe incluir el coste social de su uso. Siendo el coste total completo, directo más social, el adecuado para planificar el desarrollo futuro de las tecnologías alternativas para generación de energía.

Además, el conocimiento del coste total serviría para:

- a) Planificar las fuentes futuras de generación de energía. Teniendo en cuenta no sólo el coste directo de generación sino el total, el regulador podría influenciar las nuevas inversiones mediante incentivos, positivos y negativos, que favorecieran la producción a un coste mínimo.
- b) Concienciar a la sociedad del precio real de la energía. Poniendo de relieve que ciertas formas de generación de energía convencional aunque aparentemente más baratas pueden no serlo, si se toman en consideración otros factores tales como los daños a los recursos naturales, el medio ambiente o la seguridad de suministro.
- c) Determinar las políticas y prioridades con respecto al medio ambiente.

La estimación del coste social es un problema complejo que debe hacerse analizando los efectos en el entorno, la huella ecológica, considerando de forma exhaustiva todos los flujos de energía y materiales desde su nacimiento hasta su desaparición asociados con un sistema o proceso. Además, se deberían incluir aspectos tales como la seguridad de suministro, la fiabilidad de la tecnología y su flexibilidad.

Considerando como ejemplo el caso del petróleo, se deberían considerar el impacto medioambiental en su lugar de extracción, el transporte y preparación, la construcción de la refinería y su eventual desmantelamiento, la operación y tratamiento de los residuos y los ya mencionados aspectos de seguridad de suministro, fiabilidad y flexibilidad de la tecnología.

Contrariamente a estas externalidades negativas, la energía fotovoltaica presenta las siguientes categorías de externalidades positivas que presentamos a continuación siguiendo la clasificación presentada en el estudio ExternE de la Comisión Europea en el que se distinguen los siguientes tipos:

- Efectos sobre el entorno: los efectos causados por la liberación de sustancias contaminantes (residuos, partículas...) o energía (ruido,

radiación, calor) en el medio ambiente: aire suelo o agua. La energía fotovoltaica no presenta efectos negativos sobre el entorno.

- Efectos sobre el calentamiento global: la energía fotovoltaica no contribuye al calentamiento global al no emitir en su operación ningún tipo de gases.
- Accidentes: los accidentes son sucesos indeseados que pueden aparecer en la operación normal. Considerando los efectos de estos sucesos, se pueden distinguir entre efectos sobre el público y efectos de operación. En el caso de la energía fotovoltaica el riesgo sobre el público es prácticamente nulo en comparación con otras formas de generación (nuclear, hidráulica...) en donde pueden producirse efectos negativos altos, si bien con probabilidad muy baja. Igualmente, los riesgos de operación son también reducidos y, aunque no se dispone de estudios al efecto, probablemente menores que en el resto de los sistemas de generación.
- Seguridad en el suministro: la alteración en la cantidad o en los precios de las materias primas utilizadas para la generación energética puede tener consecuencias devastadoras en la economía de un país, particularmente si su dependencia exterior es muy alta como en el caso español. En el caso español, la energía fotovoltaica, se genera el interior del país y en muchos casos de forma distribuida, haciéndola la forma más robusta de suministro frente a perturbaciones exteriores.

Por otra parte, aunque no haya unanimidad en su inclusión como externalidades, juzgamos recomendable la inclusión de los siguientes factores dada su importancia en el proceso de decisión del sistema de generación de energía:

- Efectos en el empleo: aunque, de acuerdo con la teoría económica, los efectos en el empleo no son externalidades sí que son un importante argumento a la hora de justificar la inversión. A este respecto la energía fotovoltaica no sólo crea puestos de trabajo, directos e indirectos e

inducidos, sino que lo hace a escala local contribuyendo a la creación de empleo en zonas aisladas.

- Agotamiento de los recursos naturales no renovables: en mayor o menor medida las fuentes tradicionales de generación de energía, con excepción de la hidráulica, hacen uso de recursos naturales no renovables. La generación de la energía solar fotovoltaica, a excepción de los materiales empleados en las instalaciones, no contribuye al agotamiento de ningún recurso natural limitado.

El sector de la energía es un componente esencial y dinámico para el crecimiento de un país. La capacidad de generación y suministro de una energía de alta calidad es una parte esencial para la competitividad que debe ser contemplada dentro de la política energética. Por tanto, la generación óptima debe considerar los criterios de racionalidad, eficiencia y seguridad de la oferta; evaluando tanto los costes directos de generación como las externalidades positivas y negativas que ésta conlleva.

#### 4. La problemática en la construcción de índices

Aunque existe un acuerdo general sobre la importancia, y necesidad, de disponer de índices para la medida de magnitudes, tanto técnicas como sociales y económicas, no existe tal unanimidad en cuanto al modo de construirlos. En este caso, al depender la magnitud a medir de numerosos factores, el índice que mida su valor y evolución debe ser necesariamente un índice complejo<sup>2</sup>, y es en este punto donde surgen los dos problemas clásicos en la construcción de este tipo de índices, determinar: a) las variables que han de formar parte de él -las denominadas *dimensiones*- y b) la importancia, o peso, que ha de atribuirse a cada una de ellas.

Al ser, matemáticamente, los índices medias ponderadas de los distintos factores que los integran, su valor se ve fuertemente afectado por la elección de las ponderaciones. Sorprendentemente, en muchas ocasiones la atribución de estos pesos no tiene ningún carácter científico y se realiza por procedimientos más o menos arbitrarios<sup>3</sup>.

De modo que, a pesar de la difusión e importancia de los índices, es extraño lo poco divulgados que están sus fundamentos económicos: la teoría que los sustenta y las técnicas estadístico-econométricas empleadas en su construcción. Además, la metodología de su desarrollo no suele estar completamente explicada en los correspondientes informes, lo que dificulta su análisis riguroso. Por tanto, se puede afirmar -aun admitiendo la importancia tanto teórica como práctica de algunos de estos índices- que muchos de ellos presentan, en mayor o menor medida, problemas de tipo analítico, metodológico y cuantitativo.

Considerando los problemas apuntados anteriormente, el primero, la elección de variables, no puede ser resuelto de forma general, y su solución requiere un

---

<sup>2</sup> Se utiliza aquí el término “índice complejo” en el sentido estadístico, entendiéndolo como aquel índice cuya expresión matemática contiene más de una magnitud.

<sup>3</sup> A título de ejemplo, un procedimiento común es la atribución del mismo peso a todas las variables que integran el índice, cuando parece claro que no todas tienen que tener, necesariamente, la misma importancia en la medida de la magnitud de que se trate.

cuidadoso estudio para cada caso (véase más adelante las razones que soportan las variables seleccionadas en este caso). Por otra parte, la elección se ve condicionada por los datos estadísticos disponibles y, en la medida en que éstos se incrementen, la calidad del propio índice irá aumentando.

Con respecto al primer problema en la construcción de este índice, tal y como se discute más adelante, se consideran aspectos relativos al sector, esto es, variables que indican la evolución el mismo, así como variables relativas al entorno, como puedan ser externalidades o el acceso a financiación.

Para la resolución del segundo problema, el procedimiento empleado (véase Díaz y Montes 2006) se basa en construir el índice mediante el desarrollo de un modelo general de ecuaciones estructurales, cuyos parámetros se estiman a través del método de máxima verosimilitud con información completa (Jöreskog, 1984). El procedimiento anterior permite considerar al *índice verde* como una variable latente es decir no medible directamente sino a través de otras variables. Así, este método permite, a través del sistema descrito, generar dicha variable y, por tanto, la obtención matemática, sin lugar para la arbitrariedad, de la importancia (de los pesos) de cada una de las variables observables, que constituyen el índice .

Resumiendo, el procedimiento aplicado contribuye a paliar las carencias, apuntadas anteriormente, superando los inconvenientes que se atribuyen a la generalidad de los índices hasta ahora divulgados, dado que:

- a) Aporta un nuevo modelo, contrastado estadísticamente, para la medida y explicación del grado de penetración de la energía solar fotovoltaica.
- b) Suministra un nuevo método que consideramos es más adecuado, conceptual y prácticamente.

c) Es un procedimiento más flexible y capaz de considerar prácticamente cualquier tipo de variables, tanto medibles directamente como latentes, entre las que pueden citarse las debilidades del gobierno, acervos, ventajas comparativas, fallos de mercado, etc.

d) Está basado en una sólida metodología econométrica: los sistemas de ecuaciones estructurales con variables latentes y errores de medida.

e) Admite contrastar, con relativa facilidad, distintas teorías que justifiquen las relaciones postuladas en él.

f) Es aplicable a distintas unidades económicas que compitan o cuya comparación se desee, desde organizaciones hasta regiones y países.

g) Los pesos de las distintas variables están determinados por métodos econométricos contrastados y reproducibles, sin ningún grado de subjetividad.

h) El nuevo índice, y sus sucesivas actualizaciones a realizar en función de los datos disponibles, debería ser una ayuda importante para el seguimiento y gestión macroeconómica de la energía solar fotovoltaica.

#### **4.1. Metodología: el modelo general de sistemas de ecuaciones estructurales**

El modelo general de los sistemas de ecuaciones estructurales (Jöreskog, 1984 *op. cit.*) es un modelo matemático formal; un conjunto de ecuaciones lineales, que comprende, como casos particulares, varias clases de modelos tales como: los modelos de regresión, los sistemas de ecuaciones simultáneas, el análisis factorial y el *path analysis*. Las variables en el sistema de ecuaciones pueden ser tanto variables directamente observadas y medibles como variables (teóricas) latentes, que representan conceptos no observados directamente, tales que pueden ser solamente abordados y medidos mediante variables observadas y medibles. Las variables latentes han de ser continuas, no obstante las variables observadas dependientes pueden ser continuas, censuradas, binarias, ordenadas, categóricas (ordinales), o combinaciones de estos tipos de variables.

El modelo general está compuesto por dos submodelos: el modelo estructural -que relaciona entre si las variables latentes- y el modelo de medida -que relaciona cada variable latente con las correspondientes variables que la miden (denominadas indicadores)-. Habitualmente, se asume que existe una estructura causal entre las variables latentes.

Los modelos de ecuaciones estructurales tienen ciertas características distintivas deseables como: a) permite la inclusión explícita del error de medida en el proceso de estimación en todas las variables que se considere oportuno, b) la estimación simultánea de los parámetros de una serie de relaciones de dependencia, en donde una variable puede actuar como dependiente en unas ecuaciones e independiente en otras, c) pueden recoger causas recíprocas y modelos recursivos y no recursivos, y d) aunque es una técnica confirmatoria, nuevos desarrollos permiten también su uso como exploratoria.

Siguiendo la notación más extendida, debida a K.G. Jöreskog, se define el modelo mediante un sistema de ecuaciones lineales estructurales cuya representación matricial es:

$$\eta = \alpha + B \eta + \Gamma \xi + \zeta \quad (1)$$

en donde  $\eta$  ( $m \times 1$ ) y  $\xi$  ( $n \times 1$ ) son vectores aleatorios de, respectivamente, variables latentes dependientes e independientes,  $\alpha$  es un vector ( $m \times 1$ ) representando las intersecciones con los ejes,  $B$  ( $m \times m$ ) es la matriz de coeficientes de las variables latentes endógenas representando los efectos de variables  $\eta$  en otras variables  $\eta$ ,  $\Gamma$  ( $m \times n$ ) es la matriz de coeficientes de las variables latentes exógenas, representando los efectos directos de las variables  $\xi$  en las variables  $\eta$ , y  $\zeta$  es un vector ( $m \times 1$ ) indicativo de las perturbaciones aleatorias en la ecuación. Se asume que

$$E(\eta) = 0, E(\xi) = 0, E(\zeta) = 0$$

Las variables observadas (medibles) están representadas por los vectores  $y$  ( $p \times 1$ ), en donde  $p$  es el número de indicadores de  $\xi$ , y  $x$  ( $q \times 1$ ), siendo  $q$  el número de indicadores de  $\eta$ , que están relacionados con las variables latentes mediante las ecuaciones:

$$y = \tau_y + \Lambda_y \eta + \varepsilon, \quad (2)$$

y

$$x = \tau_x + \Lambda_x \xi + \delta, \quad (3)$$

siendo  $\varepsilon$  ( $p \times 1$ ) y  $\delta$  ( $q \times 1$ ) los vectores de los términos de error. Se asume que  $\varepsilon$  está incorrelacionado con  $\eta$ ,  $\xi$  y  $\delta$ ; y que  $\delta$  está incorrelacionado con  $\eta$ ,  $\xi$  y  $\varepsilon$ .  $\Lambda_y$  ( $p \times m$ ) y  $\Lambda_x$  ( $q \times n$ ) son matrices que contienen los coeficientes estructurales  $\lambda$ , que relacionan las variables latentes y medibles (observadas), y  $\tau_y$  ( $p \times 1$ ) y  $\tau_x$  ( $q \times 1$ ) son los vectores de los términos de intersección constantes.

La hipótesis fundamental de los sistemas de ecuaciones estructurales es  $\Sigma = \Sigma(\theta)$ , en donde  $\Sigma$  es la matriz covarianzas de la población y  $\Sigma(\theta)$  la matriz de covarianzas del modelo, escrita como función de un vector de parámetros de éste  $\theta$ . Las estimaciones de los parámetros se obtienen minimizando una función de ajuste:

$$F(\theta) = F(S, \hat{\Sigma}(\theta))$$

Una vez han sido estimados los parámetros del modelo, la matriz de covarianzas de éste se compara con la matriz de covarianzas de los datos, y si la diferencia entre ambas matrices es estadísticamente aceptable como nula, el modelo de ecuaciones estructurales propuesto se reconoce como una explicación plausible de la realidad.

A continuación, y como paso previo a la estimación del índice se expone una breve discusión sobre las variables a incluir en el modelo, así como la estructura del índice a estimar, para, posteriormente, presentar el índice ver finalmente estimado.

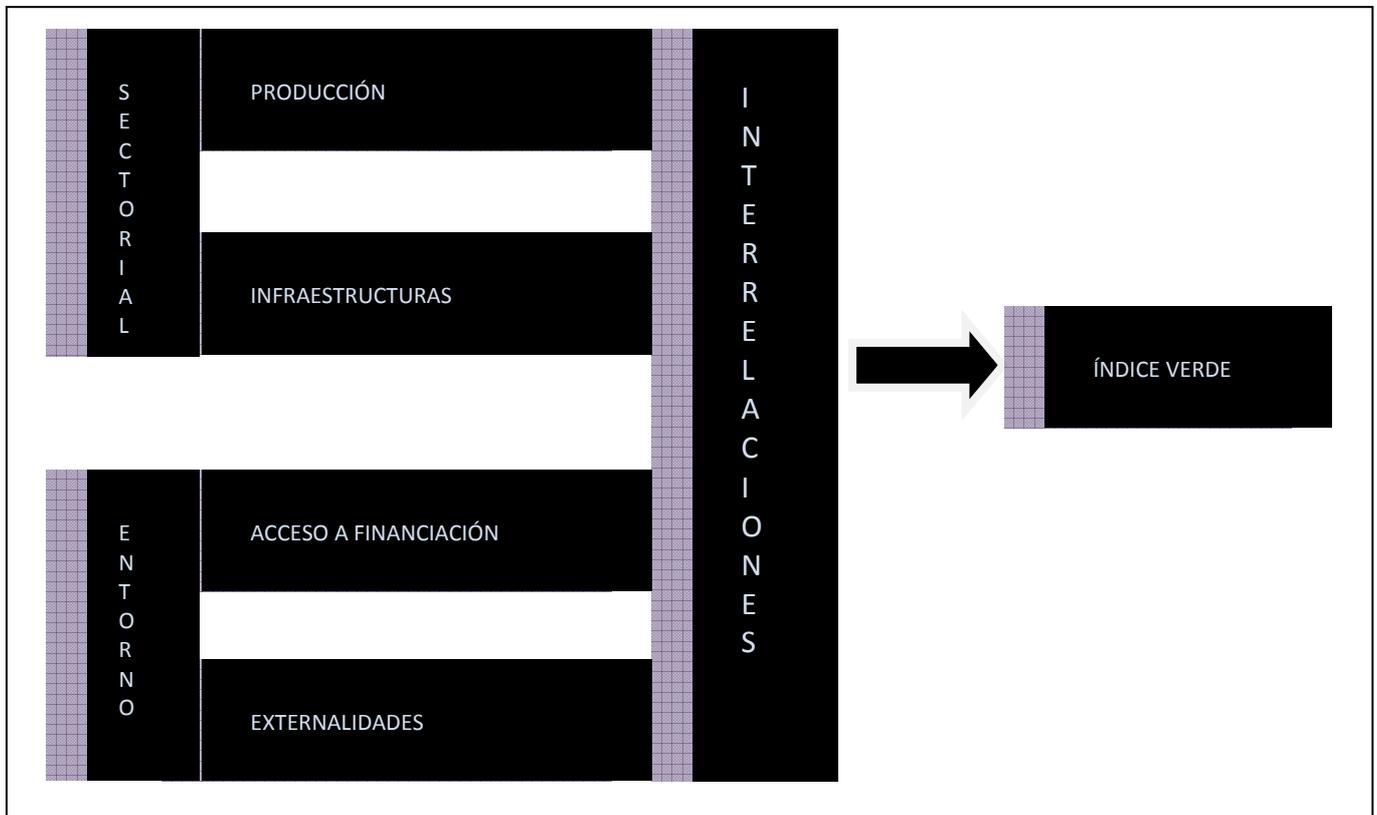
## **5.- Fuentes estadísticas y selección de variables**

El sector de las energías renovables, en general, y del fotovoltaico en particular ha tenido en los últimos años particular período expansivo a raíz, tal y como se ha explicado anteriormente, de las necesidades de combatir el cambio climático, así como de la búsqueda de fuentes de energía limpia que sirvan de alternativa a las ya existentes. Es por ello que la disponibilidad de series temporales homogéneas a nivel internacional es escasa. Esta dificultad es especialmente relevante cuando se profundiza en uno de los sectores que componen el sector de las energías renovables.

Con todo, la fuente estadística más completa para el presente estudio está disponible en la oficina de estadística europea (Eurostat). Ésta publica periódicamente las cifras económicas más relevantes de los países miembros de la Unión Europea. Entre ellas, el sector energético es estudiado, ofreciendo datos relevantes tanto del sector de energías renovables como particularmente del sector fotovoltaico.

De cara a la inclusión de variables que sean potenciales indicadores del índice verde, la figura 1, adjunta, clasifica en cuatro grupos dichas las variables. De estos cuatro grupos, un primer conjunto agrupa características propias del sector fotovoltaico. En concreto, se propone la inclusión de indicadores de producción (tales como la capacidad instalada, producción primaria, etc) e indicadores de infraestructuras (tales como metros cuadrados de paneles solares instalados). El segundo grupo se refiere a todas aquellas variables que tienen que ver con el entorno y que afectan de forma directa al sector. En este caso, estamos hablando de las externalidades que generan las energías renovables y del acceso a la financiación, necesaria en un sector con elevados costes de producción en la etapa inicial de desarrollo en la que se encuentra.

**Figura 1. Esquema de los componentes a considerar para la estimación del Índice Verde.**



Con todo, el índice lo configuran las interrelaciones entre los cuatro grupos de variables considerados. Tal y como se ha comentado, será el propio modelo econométrico el que estime cuales son las variables que inciden significativamente en el índice y cual es su peso relativo.

La tabla adjunta, resume el conjunto de variables consideradas y que son potencialmente componentes del índice.

**Tabla 1. Variables consideradas para la modelización del Índice Verde.**

---

**A. Variables Sectoriales: Producción e Infraestructuras**

PVC	Capacidad neta instalada en el sector fotovoltaico
PVC_EI	Capacidad neta instalada en el sector fotovoltaico sobre intensidad energética
EC	Capacidad neta instalada en el sector eléctrico
PVPP	Producción primaria del sector fotovoltaico
EI	Intensidad energética (Consumo energético sobre PIB)
m2	metros cuadrados de paneles solares instalados

---

**B. Variables del Entorno: Externalidades y Acceso a Financiación**

RATES	tipo de interés
GE	Emisiones de CO2
SR	Mix energético del sector renovable
MS	Cuota de mercado de la principal empresa eléctrica
MS_SR	Cuota de mercado de la principal empresa eléctrica ponderada por la cuota de mercado de las energías renovables
X	exportaciones de energía eléctrica
M	importaciones de energía eléctrica
XM	exportaciones sobre importaciones de energía eléctrica
X_SR	Cuota de exportaciones "renovables"
M_SR	Cuota de importaciones "renovables"
XM_SR	Cuota de exportaciones sobre importaciones "renovables"
EC_SR	Capacidad neta instalada en el sector eléctrico ponderada por la cuota de mercado de las energías renovables

---

Por lo que respecta a las variables sectoriales (variables de producción e infraestructuras), de todas se espera una ponderación positiva (efecto positivo) sobre el índice verde. Esto implica que, por ejemplo en el caso de la variable PVC, cuanto mayor sea la potencia instalada en un país, tanto mayor debe ser el valor del índice verde. Por otro lado, de las variables del entorno se espera efectos distintos. Por un lado, tanto los tipos de interés como las emisiones de CO2 y las importaciones, deben tener un peso negativo en índice calculado. Esto es así porque, en el primero de los casos, cuanto mayor sea el tipo de interés más costoso el acceso a financiación y, en consecuencia, más difícil será el desarrollo de un sector que, como es el caso del fotovoltaico, tiene un elevado apalancamiento financiero. En el caso de las emisiones de CO2, cuanto mayor sea el desarrollo de la industria fotovoltaica en un país, mayor

debe ser el ahorro en emisiones de CO<sub>2</sub>. En este sentido, debe recogerse un mayor valor del índice verde. Así mismo, las importaciones ponderarían de forma negativa, ya que un mayor valor de las mismas implica un mayor dependencia energética del otras de economías.

Del resto de variables, cabe destacar, especialmente, el caso de la cuota de mercado de la empresa líder del sector eléctrico (MS). Esta variable se incluye como indicador de la competencia en dicho mercado. De ella, cabe esperar que cuanto mayor sea su valor, menos competencia hay y, por tanto, hay menos incentivo por parte de las empresas eléctricas para invertir en energías renovables. En consecuencia, mayores valores de la variable MS, deben indicar menores valores del índice verde, teniendo así una ponderación negativa en el índice.

## 6.- Construcción del Índice Verde

### 6.1. Especificación del Índice Verde

Tal y como se ha comentado anteriormente, la estimación del índice ha sido realizada mediante modelos de ecuaciones estructurales con variables latentes. En dicha modelización se han tenido en cuenta las variables comentadas en el apartado anterior. Su inclusión o no en el índice final depende fundamentalmente de dos aspectos. En primer lugar, de que el efecto sobre el propio índice o sobre otras variables sea estadísticamente significativo. Y en segundo lugar, de la bondad de ajuste del modelo.

Con respecto al primero, dos efectos tienen un peso poco significativo: los tipos de interés y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Esto implica que la ponderación es relativamente baja en el índice siendo en un porcentaje significativo de los países analizados cercana a cero. No obstante, dado que su signo es el esperezado y que su peso en términos estandarizados es bajo, se computarán como parte del índice verde. El resto de variables son significativas con un nivel de significación del 2%. Esto implica que todos los valores son estadísticamente distintos de cero y, por tanto, su inclusión en el modelo es recomendable.

En el segundo caso, la bondad de ajuste del modelo es medida por varios indicadores. Todos ellos reflejan un excelente ajuste del modelo, por lo cual el modelo en su conjunto es estadísticamente significativo y aceptable<sup>4</sup>. Así, resulta especialmente significativo el nivel de significación de la X<sup>2</sup>, que con un p-valor de 0,44 indica que el modelo válido<sup>5</sup>.

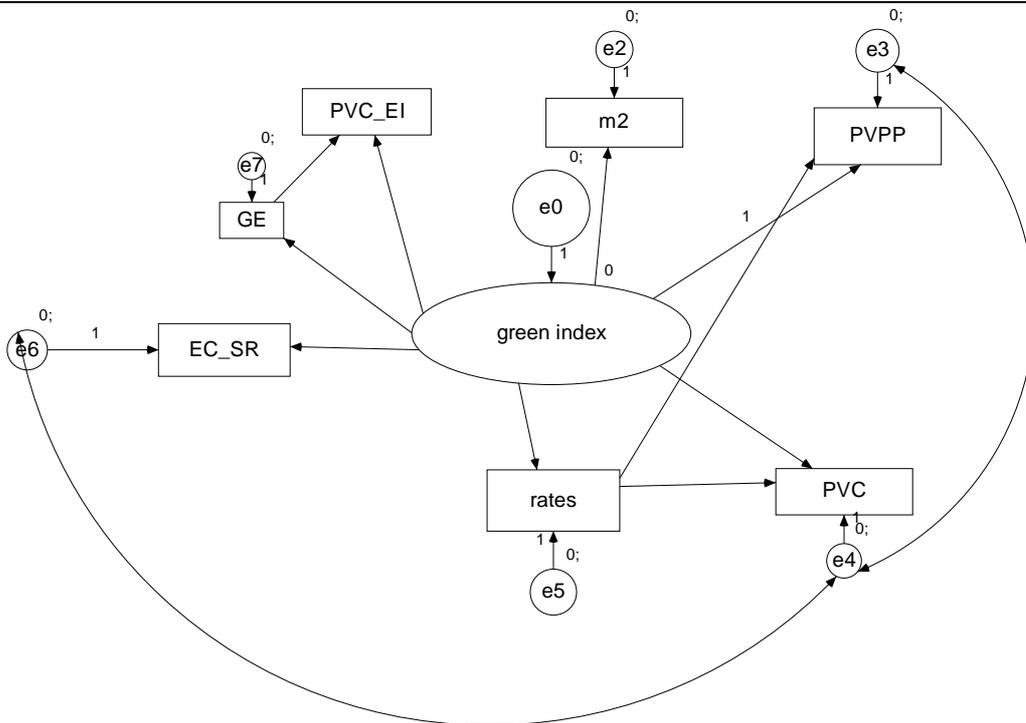
De esta forma, la conjunción de estos dos requisitos nos ha llevado a considerar finalmente como modelo más apropiado el contemplado en la figura 2 adjunta.

---

<sup>4</sup> En el anexo econométrico puede encontrarse la estimación resultante y los indicadores de bondad de ajuste del mismo.

<sup>5</sup> Habitualmente, un nivel de 0,1 es considerado como válido para la aceptación del modelo estimado en su conjunto, de forma que cuanto mayor sea este valor, tanto mejor es el ajuste del mismo.

**Figura 2. Esquema de efectos estructurales estimados con base 2007.**



## 6.2.- Estimación del Índice Verde

Las variables finalmente incluidas en el índice son siete. La potencia neta instalada en el sector fotovoltaico (PVC); la capacidad neta instalada en el sector fotovoltaico sobre intensidad energética (PVC\_EI); la producción primaria de energía eléctrica en el sector fotovoltaico (PVPP); el área de paneles solares instalados en metros cuadrados (m2); la capacidad neta instalada en el sector eléctrico ponderada por la cuota de mercado de las energías renovables (EC\_SR); las emisiones de CO2 (GE); y los tipos de interés (rates). Estas tres últimas representan variables del entorno, mientras que las otras cuatro son indicadores del propio sector.

**Tabla 2. Coeficientes estimados**

### A. Coeficientes estimados sobre el Índice Verde

Indicador	Variable	Coeficientes no Estandarizados	Error estandar	Razón crítica	P-valor	Coef. Estand.
GE	Índice	-0,006	0,007	-0,776	0,438	-0,196
rates	Índice	-0,000	0	-0,574	0,566	-0,153
PVC_EI	Índice	0,008	0	172,192	***	0,995
PVPP	Índice	1,000				0,998
EC_SR	Índice	4,930	2,076	2,375	0,018	0,511
m2	Índice	2,779	0,379	7,34	***	0,878
PVC	Índice	1,238	0,004	341,037	***	0,998

### B. Coeficientes estructurales estimados

Variable explicada	Indicador	Coeficientes no Estandarizados	Error estandar	Razón crítica	P-valor	Coef. Estand.
PVC_EI	GE	-0,007	0,001	-4,654	***	-0,024
PVC	rates	-20,94	9,735	-2,151	0,031	-0,011
PVPP	rates	-16,448	8,888	-1,851	0,064	-0,011

Los coeficientes obtenidos tienen todos ellos los coeficientes esperados (véase apartado A de la tabla 2). Así, todas las variables ejercen un efecto positivo sobre el índice verde a excepción de las emisiones de CO2 (variable GE) y los tipos de interés. En el primer caso, tal y como se ha expuesto anteriormente, los efectos positivos implican que un mayor crecimiento de estos indicadores

producirá mayores niveles en el índice verde y, por tanto, una mejor posición relativa respecto al resto de países. Este resultado era de esperar, ya que un mayor crecimiento, por ejemplo de la capacidad instalada produce una mayor disponibilidad de energía limpia y, en consecuencia, mayores niveles del índice verde.

En el caso de las variables GE y tipos de interés, el efecto negativo implica que mayores emisiones de CO<sub>2</sub> (o mayores tipos de interés) restan valor al índice verde, tal y como era de esperar. Así, cuanto mayor sea el tipo de interés mayor es la dificultad del sector para acceder a financiación y, por tanto, más complicado será llevar a cabo inversiones que impulsen el desarrollo de la producción de este tipo de energía limpia.

Por otra parte, la modelización incluye la estimación de efectos estructurales, es decir, efectos entre los propios indicadores (apartado B de la tabla 2). En concreto, se han incluido tres tipos de efectos.

Por un lado, la incidencia de las emisiones de CO<sub>2</sub> (variable GE) sobre la capacidad neta instalada ponderada por la intensidad de energía eléctrica, cuyo efecto es negativo y estadísticamente significativo. Esto implica que los países con mayores emisiones de CO<sub>2</sub>, tienden a presentar una menor capacidad de potencia instalada ponderada.

En segundo lugar, los tipos de interés tienen un efecto negativo y estadísticamente significativo sobre la capacidad instalada (PVC) y sobre la producción primaria. En ambos casos, este efecto representa la correlación entre el acceso a la financiación y la posibilidad de incrementar la potencia instalada (o la producción primaria del sector) en relación al resto de países.

Con todo, las implicaciones del modelo estimado para el panel de países de la UE considerados, muestran que mayores inversiones en la instalación de placas fotovoltaicas y, por tanto, en la producción primaria de energía de este sector produce efectos positivos sobre el medio ambiente en términos de menores externalidades por la reducción de CO<sub>2</sub>. Así mismo, es necesaria la mejora en el acceso a financiación del sector para producir mayores niveles en el índice verde de cada país. De este modo, un mayor índice verde representa

un incremento del bienestar tanto en términos medioambientales como en términos económicos. En este último caso, es debido a la menor dependencia energética y por las mejoras en eficiencia que pueda producir al resto de la economía.

## 7. Cálculo del Índice Verde con base 2007

Para el cálculo del índice verde es necesario distinguir dos tipos de efectos: los directos y los indirectos. Los directos, como su propio nombre indica, son la consecuencia del impacto de las variables que directamente guardan una relación estimada de forma directa con el índice (variables expuestas en el apartado A de la tabla 2, anterior). Por otro lado, los indirectos, son aquellos que sin establecer una relación directa con el índice tienen implicaciones en el mismo por tener una correlación significativa no nula con variables que inciden directamente en el índice. Este es el caso, por ejemplo, de la variable PVPP que incorpora el efecto directo estimado (y expuesto en el apartado A de la tabla 2) más el efecto indirecto como consecuencia de su correlación con los tipos de interés (apartado B de la tabla 2).

De esta forma, la tabla 3, adjunta, expone los efectos totales para el cálculo del índice como consecuencia de aplicar los coeficientes de efecto total al valor de cada variable para cada país.

**Tabla 3. Coeficientes totales estandarizados estimados de los indicadores sobre el Índice Verde.**

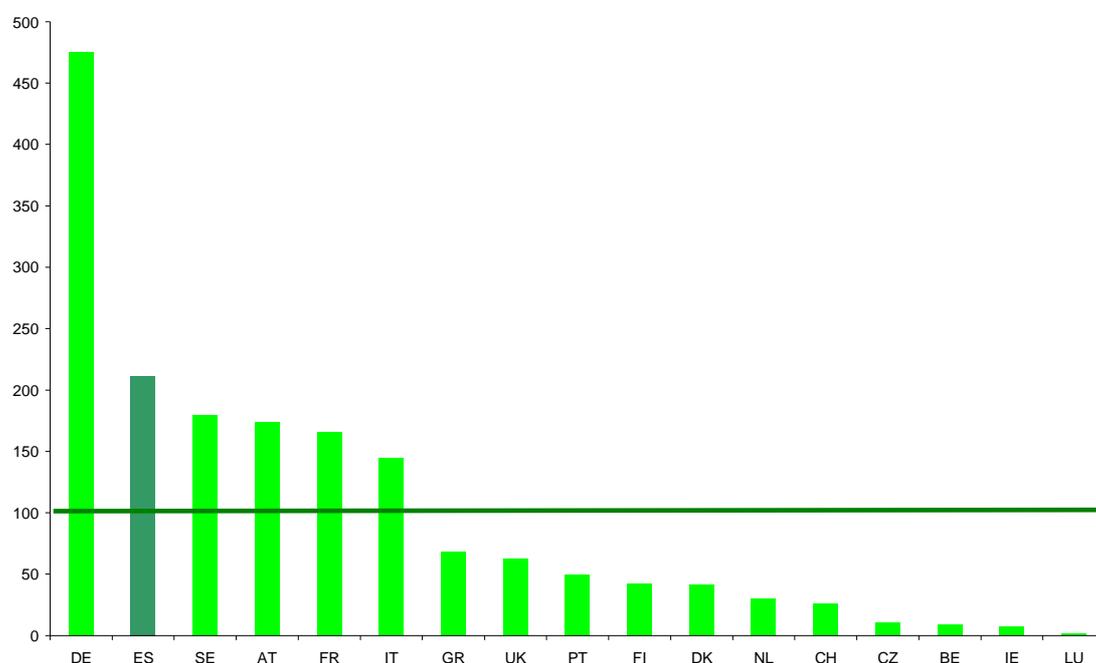
Indicador	Coeficiente
GE	-0,196
Rates	-0,153
EC_SR	0,511
PVC	1,000
m2	0,878
PVPP	1,000
PVC_EI	1,000

La figura 3 muestra los resultados obtenidos como consecuencia de aplicar dichos coeficientes. De los mismos cabe destacar, por un lado, la existencia de dos grupos diferenciados. Un primer grupo liderado por Alemania y seguido por España que muestra un resultado del índice por encima de la media. El segundo grupo, encabezados por Grecia, Reino Unido y Portugal, tienen un

valor del índice por debajo de la media y relativamente alejados del grupo de cabeza.

Con respecto a la posición de España, cabe destacar su segunda posición, por detrás de Alemania, que es consecuencia de una potencia instalada elevada respecto a los países de la UE, una reducida emisión de CO2 en relación a dichos países, una buena infraestructura, en el sentido de paneles solares instalados y una relativa facilidad para el acceso a financiación que ha permitido un desarrollo adecuado del sector en el año 2007.

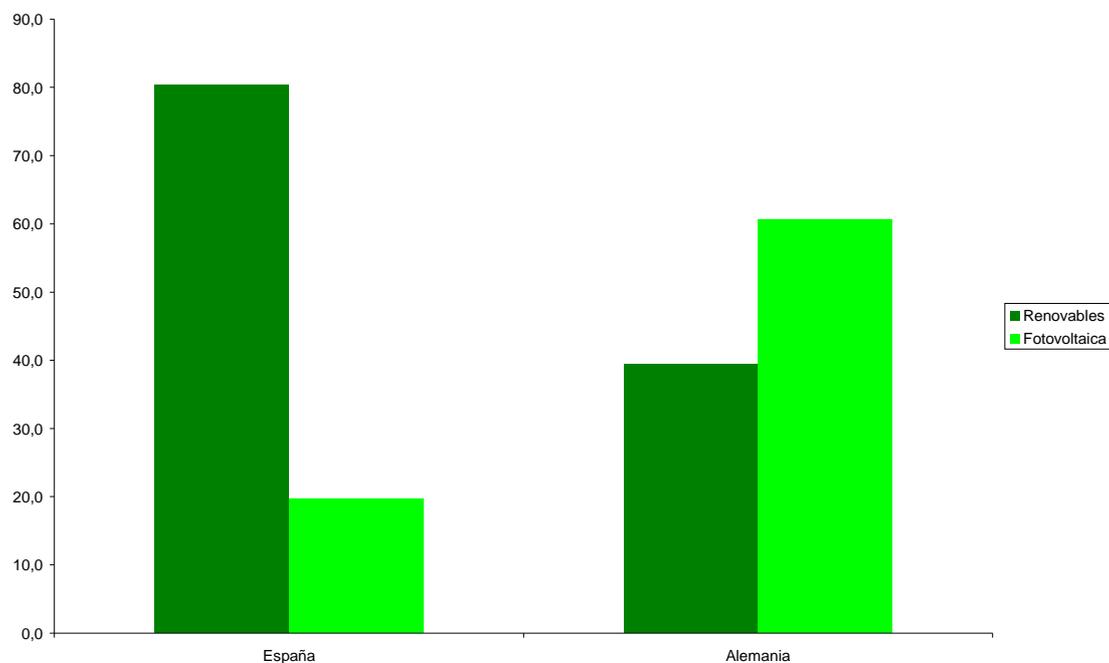
**Figura 3. Índice Verde estimado con base 2007.**



Un análisis detallado de los componentes del índice verde en 2007 para España revela resultados interesantes. El 80% del índice verde para España se explica por el desarrollo del sector renovable, no sólo fotovoltaico. Mientras que el 20% restante, lo explica el desarrollo del propio sector fotovoltaico. (véase figura 4, adjunta). En relación con Alemania, las diferencias son muy significativas. En Alemania la composición del índice verde es de un 60% debido a la industria fotovoltaica y del 40 debido al resto del sector. Estas cifras revelan grandes diferencias en la composición del sector renovable en España con respecto a Alemania. Así, un mayor apoyo al desarrollo del sector

fotovoltaico en España facilitaría poder acercarnos en términos de “desarrollo verde” a los niveles de Alemania.

**Figura 4. Contribución al Índice Verde en España y Alemania. 2007**

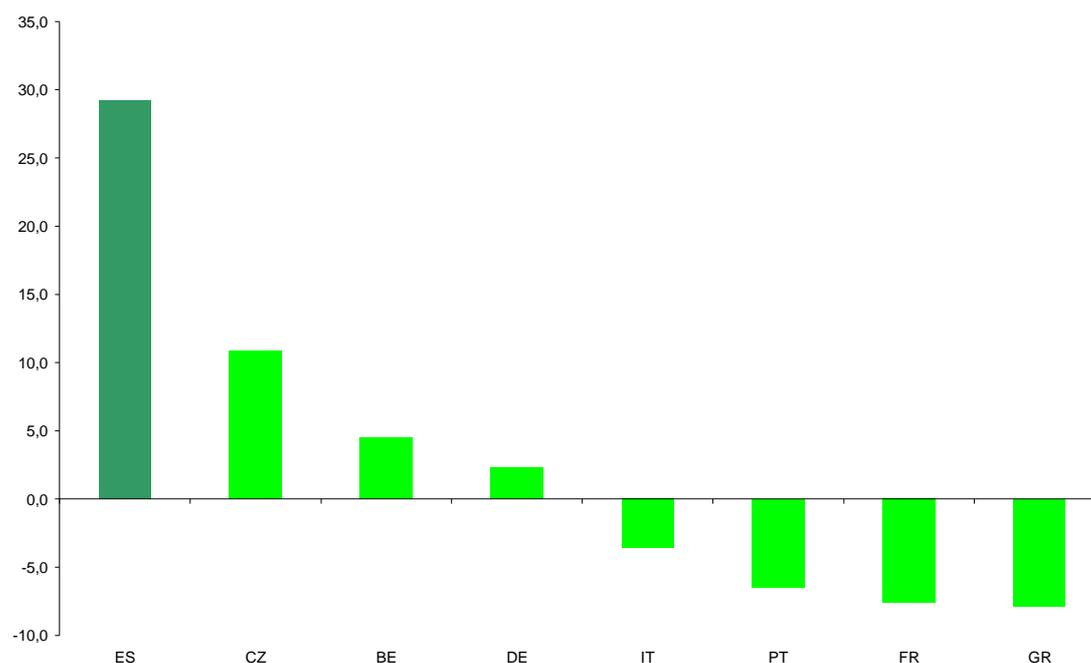


## 8.- Índice Verde. Avance 2008, Predicción 2009

Una vez construido el índice, nuestro propósito es saber el estado actual de desarrollo en términos del índice verde calculado. Para ello, actualizamos con los datos de 2008 en la medida para los países sobre los que disponemos información y realizamos una estimación de la situación en 2009 con los datos estimados por la European Photovoltaic Industry Association (EPIA) para dicho año.

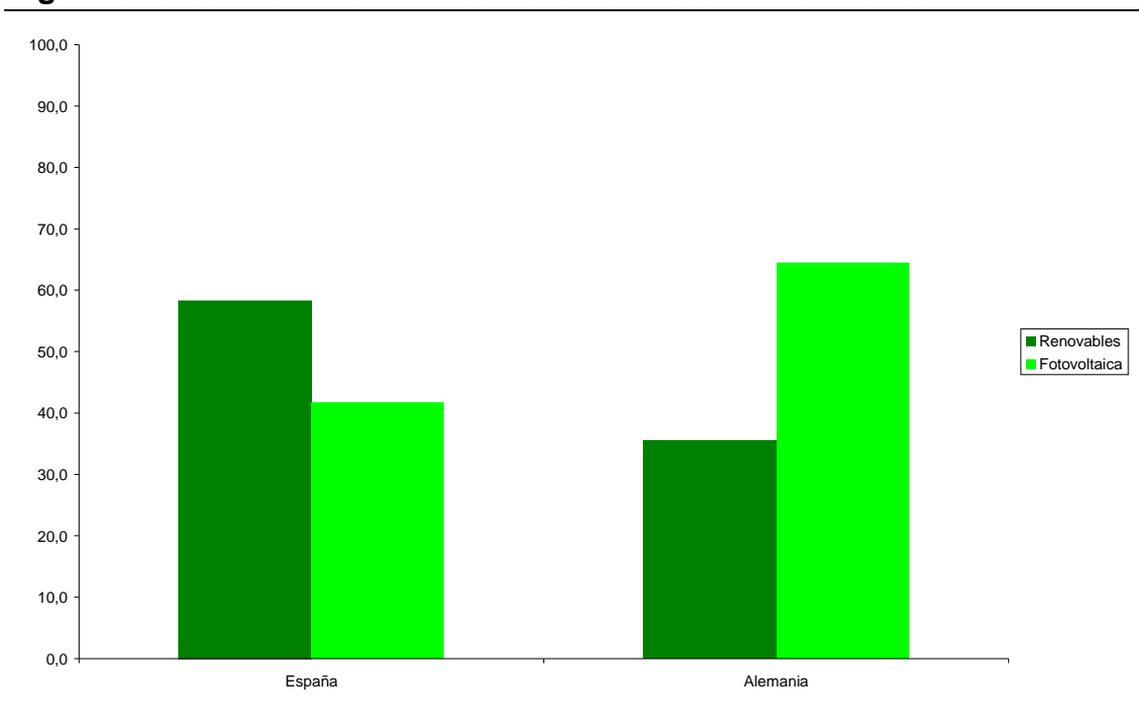
Así, en el año 2008, España registró el mayor crecimiento de los países considerados. En concreto, el crecimiento del índice para España fue casi un 30% por encima de la media de los países considerados. Así mismo, es preciso señalar que los países con datos disponibles sobre el sector para este año son, precisamente los que más han impulsado a la industria fotovoltaica, lo cual da una importancia aún mayor a la cifra de crecimiento española. De esta forma, nuestra economía se situó en 2008 más cerca de los niveles estimados para Alemania en términos del Índice Verde.

**Figura 5. Crecimiento respecto a la media del Índice Verde en 2008. Dato Avance.**



Este fuerte crecimiento del sector en el año 2008, es consecuencia de un crecimiento más equilibrado de la industria fotovoltaica con respecto al resto de renovables. Tal y como refleja la figura 6, el fuerte crecimiento de dicho sector ha producido una contribución cercana al 40% en España. Esto supone el doble respecto a la contribución en el año 2007. Alemania, por su parte, mantiene una estructura similar, reflejo del menor crecimiento del índice en dicho país.

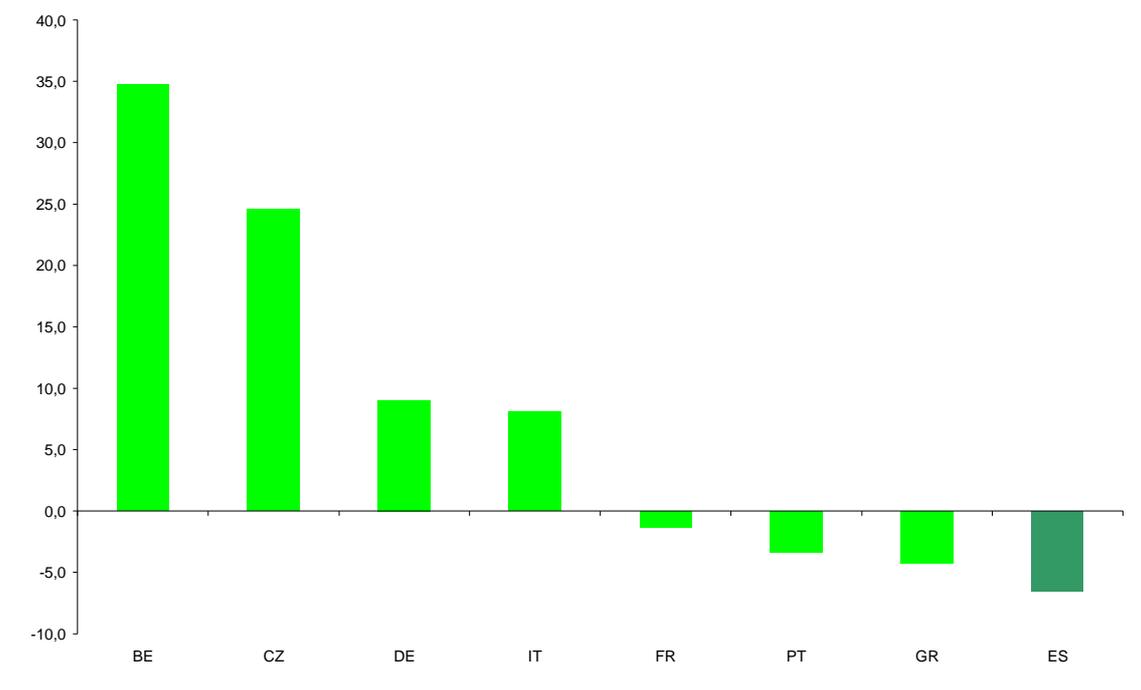
**Figura 6. Crecimiento del Índice Verde en 2008. Dato Avance.**



A pesar de todo, la situación actual del sector en España ha pasado, en sólo un año, al lado opuesto. Efectivamente, las estimaciones apuntan a que el crecimiento del sector se ha estancado por completo y, en consecuencia, el índice verde para España registra un crecimiento prácticamente nulo. Así, si comparamos el incremento del Índice Verde en España en previsto para 2009 con respecto a la media de todos países, nuestra economía, de continuar la situación actual en la industria, registrará una caída superior al 6% en 2009, lo cual significa el peor comportamiento de todos los países considerados (véase figura 7, adjunta).

Como consecuencia de esta situación, resulta recomendable impulsar la producción de infraestructuras en el sector fotovoltaico en España. En concreto, medidas de apoyo que faciliten un mayor acceso a financiación, así como un marco regulatorio más adecuado a la estructura que se ha alcanzado en España como consecuencia del fuerte crecimiento en ejercicios pasados, son estrictamente necesarias para evitar paralizar este sector emergente.

**Figura 7. Crecimiento del Índice Verde en 2009. *Dato Estimado***



## **9.- Consideraciones finales**

El uso eficiente de la energía y la reducción de la dependencia energética de España con el extranjero ha sido, y es, uno de los objetivos prioritarios de la política energética del país. La consecución de estos objetivos se hizo aún más apremiante por las sucesivas crisis del petróleo, promulgándose una serie de planes energéticos apoyados en la correspondiente legislación que ha tratado de favorecer su logro.

En la actualidad, el 26 agosto 2005 fue aprobado el plan de energías renovables 2005-2010 que contenía un conjunto de medidas orientado a incrementar el potencial de generación eléctrica en España mediante energías renovables.

Estos objetivos se pueden resumir en: a) reducción de las emisiones de dióxido de carbono, contribuyendo al cumplimiento de los acuerdos del Protocolo de Kyoto y de los acuerdos que se derivan de nuestra pertenencia a la Unión Europea, b) reducción de la dependencia energética nacional aumentando su seguridad y calidad y c) fomento del desarrollo tecnológico, que permita aumentar la eficiencia en la generación de energía mediante este tipo de tecnologías y, de un modo general, d) contribuir a la estrategia de ahorro y eficiencia energética en España.

Esta regulación produjo un rápido incremento de la potencia instalada, que alcanzó, en cuestión de meses, los 371 MW totales previstos en el plan de energías renovables 2005-2007, lo que determinó una nueva modificación del marco legislativo, mediante el Real Decreto 1578/2008 de 26 septiembre en el que se alteró el régimen retributivo para la energía generada mediante este tipo de tecnología y se fijaron nuevos objetivos para la potencia instalada.

Aunque dichos objetivos constituyen un marco razonable, investigaciones preliminares, aunque no exhaustivas pero si cuidadosas y sistemáticas, han revelado hasta el momento que la aplicación del decreto está suscitando fuertes críticas y graves perjuicios económicos entre las empresas del sector. Por ello, con el fin de eliminar la componente de subjetividad de este tipo de

valoraciones se ha propuesto en este trabajo un índice que registra de forma objetiva su evolución, determinando así el grado en que la nueva legislación es verdaderamente adecuada a los objetivos expuestos.

Por otra parte, La generación de electricidad produce externalidades en el medio ambiente, que varían considerablemente dependiendo del tipo de energía y de la tecnología empleada en su generación.

Los costes de los daños causados por la polución producida por las formas convencionales de generación de energía son denominados costes externos. Los costes externos, al no ser asumidos por los productores, actúan como subsidios indirectos para algunas formas convencionales de generación energética lo que: a) impide el evaluar los costes reales de la energía, b) altera la percepción que la sociedad tiene de estos costes y c) obstaculiza el desarrollo de formas alternativas de generación energética.

La correcta evaluación del coste de generación de la energía debe incluir las externalidades (tratadas más abajo) de las diferentes formas de producirla. Por tanto, el coste, y por tanto el precio, debería establecerse considerando sus costes de generación y distribución junto con el posible daño medioambiental, a nivel local regional y global. Lo que serviría además para: planificar las fuentes futuras de generación de energía, concienciar a la sociedad del precio real de la energía y determinar las políticas y prioridades con respecto al medio ambiente.

En este caso, el coste de la generación de energías renovables puede ser competitiva frente a otras formas de generación ya que al contrario que las energías convencionales -tales como las generadas a partir de los combustibles fósiles- las energías renovables incurren en una fracción mínima de estos costes externos y no causan serios daños a la salud humana.

Una evaluación adecuada del precio de la energía debe incluir el coste social de su uso. Siendo el coste total completo, directo más social, el adecuado para planificar el desarrollo futuro de las tecnologías alternativas para generación de energía.

Con todo, uno de los principales problemas a la hora de la construcción de un índice es la elaboración de los pesos que ponderan cada variable. En este estudio, hemos aplicado una nueva metodología desarrollada con anterioridad en Díaz y Montes (2006). Esta metodología resuelve esta problemática fijando de forma objetiva las ponderaciones a través de sistemas de ecuaciones estructurales que incluyen tanto variables observables (no latentes) no observables (latentes). Así, hemos desarrollado el Índice Verde construyéndolo con base en el año 2007 y desarrollando un avance de resultados en 2008 y una predicción para 2009. De su construcción se han revelado resultados importantes sobre la industria fotovoltaica en España de entre los cuales caben destacar los siguientes:

- España tiene un valor del Índice Verde que se sitúa en 2007 en segunda posición por detrás de Alemania. Esta posición se ha mantenido en 2008 y se mantendrá 2009.
- En Europa se existen dos grupos claramente diferenciados. Un grupo de países situados por encima de la media, entre los que se encuentra España, y otro grupo de países donde el desarrollo de la energía renovable está muy poco desarrollado. En el primer grupo cabe destacar a Alemania, Francia o Italia. El segundo grupo está liderado por Reino Unido y cuenta con países como Portugal, Finlandia, Grecia.
- Con respecto a España, nuestra economía desde la óptica renovable, se ha desarrollado, en 2007, gracias en un 80% a la industria renovable no fotovoltaica. Mientras que la fotovoltaica tiene un peso del 20%. No obstante, con el fuerte impulso del sector en 2008, el 40% del desarrollo verde lo explica el sector fotovoltaico, siendo el 60% como consecuencia del resto de renovable. Este impulso en 2008 ha favorecido la convergencia de España con Alemania. Sin embargo, el reciente desarrollo del sector en nuestro país podría poner en peligro los logros alcanzados.
- En 2008, el Índice verde en España creció alrededor de un 30% por encima de la media, contribuyendo al mencionado desarrollo verde, que estuvo impulsado, fundamentalmente por la industria fotovoltaica.

- En 2009, la situación del sector en España se ha vuelto alarmante. El desarrollo fotovoltaico ha sido tal que el Índice Verde ha registrado un crecimiento negativo en relación a la media. En concreto se ha situado un 6,6% por debajo de la media de los países analizados.

De todos estos resultados se deduce que en España se ha adquirido una infraestructura en energía renovable muy importante que tiene en la industria fotovoltaica a uno de sus principales componentes. Sin embargo, el sector ha entrado en 2009 en una situación de estancamiento que podría afectar a su desarrollo futuro. En consecuencia resulta necesario que se tomen medidas de apoyo al sector que favorezcan un crecimiento continuado y eviten la destrucción de parte de los logros alcanzados hasta el momento. En este sentido, el apoyo al sector es necesario para que mediante el acceso a financiación pueda seguir desarrollándose con inversiones importantes tanto públicas como desde el ámbito privado. En este último caso, una normativa más estable que minimice la incertidumbre generaría confianza para la inversión en el mismo.

## 10.- Anexo econométrico

Estimates (Group number 1 - Default model)

Scalar Estimates (Group number 1 - Default model)

Maximum Likelihood Estimates

Regression Weights: (Group number 1 - Default model)

	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
GE <--- green index	-,006	,007	-,776	,438	
rates <--- green index	,000	,000	-,574	,566	
PVC_EI <--- green index	,008	,000	172,192	***	
PVPP <--- green index	1,000				
EC_SR <--- green index	4,930	2,076	2,375	,018	
m2 <--- green index	2,779	,379	7,340	***	
PVC <--- green index	1,238	,004	341,037	***	
PVC_EI <--- GE	-,007	,001	-4,654	***	
PVC <--- rates	-20,940	9,735	-2,151	,031	
PVPP <--- rates	-16,448	8,888	-1,851	,064	

Standardized Regression Weights: (Group number 1 - Default model)

	Estimate
GE <--- green index	-,196
rates <--- green index	-,153
PVC_EI <--- green index	,995
PVPP <--- green index	,998
EC_SR <--- green index	,511
m2 <--- green index	,878
PVC <--- green index	,998

	Estimate
PVC_EI<--- GE	-,024
PVC <--- rates	-,011
PVPP <--- rates	-,011

Intercepts: (Group number 1 - Default model)

	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
rates	5,658	,130	43,379	***	
GE	102,345	5,343	19,157	***	
PVC_EI	2,507	1,472	1,703	,089	
m2	1472,706	570,228	2,583	,010	
PVPP	315,764	187,139	1,687	,092	
PVC	400,059	229,882	1,740	,082	
EC_SR	6851,788	1740,207	3,937	***	

Covariances: (Group number 1 - Default model)

	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
e3 <--> e4	231,084	95,360	2,423	,015	
e4 <--> e6	26725,361	15657,671	1,707	,088	

Correlations: (Group number 1 - Default model)

	Estimate
e3 <--> e4	,846
e4 <--> e6	,254

Variances: (Group number 1 - Default model)

	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
e0	519632,285	183809,352	2,827	,005	
e5	,228	,089	2,578	,010	
e7	416,161	153,618	2,709	,007	

	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
e2	1189710,737	420665,860	2,828	,005	
e3	241,816	91,862	2,632	,008	
e4	308,646	113,141	2,728	,006	
e6	35824076,457	12665849,856	2,828	,005	

Matrices (Group number 1 - Default model)

Total Effects (Group number 1 - Default model)

	green index	GE	rates
GE	-,006	,000	,000
rates	,000	,000	,000
EC_SR	4,930	,000	,000
PVC	1,240	,000	-20,940
m2	2,779	,000	,000
PVPP	1,002	,000	-16,448
PVC_EI	,008	-,007	,000

Standardized Total Effects (Group number 1 - Default model)

	green index	GE	rates
GE	-,196	,000	,000
rates	-,153	,000	,000
EC_SR	,511	,000	,000
PVC	1,000	,000	-,011
m2	,878	,000	,000
PVPP	1,000	,000	-,011
PVC_EI	1,000	-,024	,000

Direct Effects (Group number 1 - Default model)

	green index	GE	rates
--	-------------	----	-------

	green index	GE	rates
GE	-,006	,000	,000
rates	,000	,000	,000
EC_SR	4,930	,000	,000
PVC	1,238	,000	-20,940
m2	2,779	,000	,000
PVPP	1,000	,000	-16,448
PVC_EI	,008	-,007	,000

Standardized Direct Effects (Group number 1 - Default model)

	green index	GE	rates
GE	-,196	,000	,000
rates	-,153	,000	,000
EC_SR	,511	,000	,000
PVC	,998	,000	-,011
m2	,878	,000	,000
PVPP	,998	,000	-,011
PVC_EI	,995	-,024	,000

Indirect Effects (Group number 1 - Default model)

	green index	GE	rates
GE	,000	,000	,000
rates	,000	,000	,000
EC_SR	,000	,000	,000
PVC	,002	,000	,000
m2	,000	,000	,000
PVPP	,002	,000	,000

	green index	GE	rates
PVC_EI	,000	,000	,000

#### Standardized Indirect Effects (Group number 1 - Default model)

	green index	GE	rates
GE	,000	,000	,000
rates	,000	,000	,000
EC_SR	,000	,000	,000
PVC	,002	,000	,000
m2	,000	,000	,000
PVPP	,002	,000	,000
PVC_EI	,005	,000	,000

#### Model Fit Summary

##### CMIN

Model	NPAR	CMIN	DF	P	CMIN/DF
Default model	25	9,951	10	,445	,995
Saturated model	35	,000	0		
Independence model	7	310,730	28	,000	11,098

#### Baseline Comparisons

Model	NFI Delta1	RFI rho1	IFI Delta2	TLI rho2	CFI
Default model	,968	,910	1,000	1,000	1,000
Saturated model	1,000		1,000		1,000
Independence model	,000	,000	,000	,000	,000

#### Parsimony-Adjusted Measures

Model	PRATIO	PNFI	PCFI

Model	PRATIO	PNFI	PCFI
Default model	,357	,346	,357
Saturated model	,000	,000	,000
Independence model	1,000	,000	,000

#### NCP

Model	NCP	LO 90	HI 90
Default model	,000	,000	11,668
Saturated model	,000	,000	,000
Independence model	282,730	229,741	343,176

#### FMIN

Model	FMIN	F0	LO 90	HI 90
Default model	,622	,000	,000	,729
Saturated model	,000	,000	,000	,000
Independence model	19,421	17,671	14,359	21,448

#### RMSEA

Model	RMSEA	LO 90	HI 90	PCLOSE
Default model	,000	,000	,270	,479
Independence model	,794	,716	,875	,000

#### AIC

Model	AIC	BCC	BIC	CAIC
Default model	59,951	109,951		
Saturated model	70,000	140,000		
Independence model	324,730	338,730		

#### ECVI

Model	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Default model	3,747	3,750	4,479	6,872

Model	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Saturated model	4,375	4,375	4,375	8,750
Independence model	20,296	16,984	24,073	21,171

#### HOELTER

Model	HOELTER .05	HOELTER .01
Default model	30	38
Independence model	3	3

## 11. Bibliografía

- Bentler, Peter M. & Bonett, Douglas G. (1980). Significance tests and goodness of fit in the analysis of covariance structures. *Psychological Bulletin*, 88, 588–606.
- Bentler, Peter M. (1990). Comparative fit indexes in structural models. *Psychological Bulletin*, 107, 238–246 *Psychometrika*, 51, 375–377.
- Bollen, Ken A. (1986). Sample size and Bentler and Bonett's nonnormed fit index.
- Caldés, N. et al. (2009). Economic impact of solar thermal electricity deployment in Spain. *Energy Policy*. Elsevier.
- Díaz, Ángel y Montes, José Luis. (2006), Digital Technologies and Competitiveness Effects on Manufacturing Companies. En *From Small Firms to Multinationals: Industrial, Entrepreneurial, Managerial, Financial, Fiscal Transaction Cost and Consumer Perspectives on the Era of Globalization*. I.O. Salavrakos (Ed.) Athens Institute for Education and Research. Atenas.
- Jöreskog, Karl G. & Sörbom, D. (1984). LISREL-VI user's guide (3rd ed.). Mooresville, IN: Scientific Software.
- Kammen, Daniel M., Kamal Kapadia, and Matthias Fripp (2004) *Putting Renewables to Work: How Many Jobs Can the Clean Energy Industry Generate?* RAEI Report, University of California, Berkeley.
- Krazat, Marlene y Lehr, Ulrike (2007). International Workshop "Renewable Energy: Employment Effects". Federal Ministry for the Environment, Nature, Conservation and Nuclear Safety.