

DESARROLLO SOSTENIBLE EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD, POR MEDIO DE ENERGÍAS RENOVABLES: UNA APLICACIÓN EMPÍRICA PARA EL VALLE DE TOLUCA, MÉXICO

SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE GENERATION OF ELECTRICITY, THROUGH RENEWABLE ENERGY: AN EMPIRICAL APPLICATION TO THE TOLUCA VALLEY, MEXICO

Heber Castañeda Martínez^λ

Rosa Azalea Canales García^π

Jorge Loza López^α

- **RESUMEN:** Analizar el desarrollo sostenible en la generación de electricidad, por medio de energías renovables a partir de una aplicación empírica para el valle de Toluca. Para el cumplimiento de tal objetivo, se utilizó la metodología Experimentos de Elección aplicada a una muestra significativa de los habitantes de la ciudad de Toluca, Estado de México. Los hallazgos relativos a esta investigación señalan que, contrario a la Teoría de Iglenhart, economías en vías de desarrollo le otorgan mayor importancia a valores postmaterialistas (particularmente, el medio ambiente) sobre valores puramente materialistas. Específicamente, a partir

^λ Doctor en Ciencias Económico-Administrativas. Cordinador de la Unidad de Estudios Superiores Coatepec Harinas de la Universidad Mexiquense del Bicentenario, y profesor de asignatura en la Facultad de Economía de la Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: hcastanedam@uaemex.mx

^π Doctora en Ciencias Económico-Administrativas. Profesora de Tiempo Completo de la Facultad de Economía de la UAEMex. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Nivel I. correo electrónico: azalea_canales@hotmail.com

^α Es doctor en Humanidades: Ética por Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex). Actualmente se encuentra adscrito a la Universidad Autónoma del Estado de México, así mismo desarrolla la línea de investigación “Administración Sustentable”, entre sus publicaciones sobresalen los libros: La administración sustentable y la responsabilidad vital; “Las metodologías en la investigación organizacional hacia la transdisciplinariedad” y “Más allá del método científico positivista”; así como “La competitividad en el siglo XXI”. Correo electrónico: lozajorge42@gmail.com

Economía coyuntural, Revista de temas de coyuntura y perspectivas, ISSN 2415-0630 (en línea)

ISSN 2415-0622 (impresa), 4 (4), 121-150.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.3631510>

de la muestra analizada es posible inferir que los habitantes del municipio de Toluca prefieren una política que apoya el desarrollo sostenible.

- **PALABRAS CLAVE:** Desarrollo sostenido, recursos renovables, energía eléctrica, experimento de elección.
- **ABSTRACT:** To analyze the sustainable development in the generation of electricity, by means of renewable energies from an empirical application to the Toluca valley. For the fulfillment of this objective, the Experiments of Choice methodology applied to a significant sample of the population of the city of Toluca, State of Mexico was used. The findings related to this research indicate that, contrary to the Ighenart Theory, developing economies attach greater importance to postmaterialist values (particularly the environment) over purely materialistic values. Specifically, from the sample analyzed it is possible to infer that the population of the municipality of Toluca prefer a policy that supports sustainable development.
- **KEY WORDS:** Sustainable development, renewable resources, electric power, choice experiment.
- **CLASIFICACIÓN JEL:** C01, Q01, Q2.

▪ Recepción: 18/06/2019

▪ Aceptación: 04/11/2019

INTRODUCCIÓN

La tasa de participación de las mujeres en la fuerza laboral (LFPRW) ha estado A finales del siglo XX, fue notorio el cambio de precepción de las economías hacia cuestiones ambientales, producto del agotamiento de los recursos naturales y la contaminación que provoca la creación de la riqueza a partir de la producción y acumulación de bienes tangibles.

Dada esta circunstancia, el desarrollo sostenido representa un enfoque que trata de explicar el desarrollo de los países de acorde a sus posibilidades sociales, económicas y ambientales. En otras palabras, define un tipo de crecimiento prevaleciente durante un largo periodo de tiempo que posibilite a

las generaciones actuales alcanzar bienestar, sin que esto signifique una amenaza o deterioro de las condiciones de vida de las generaciones futuras.

La finalidad trascendental del desarrollo sostenible es reconciliar tres aspectos inherentes a las actividades humanas: económico, social y medio ambiental; mismos que son esquematizados y etiquetados como los tres pilares del desarrollo sostenido.

El primer pilar, sostenibilidad económica, señala aquellas actividades financieramente rentables, acordes con las necesidades sociales y medioambientalmente responsables. El segundo pilar, sostenibilidad social, se basa en la cohesión social y en la capacidad para trabajar en equipo en torno a la persecución de objetivos comunes; y el tercer pilar, sostenibilidad ambiental, considera la compatibilidad entre las actividades humanas y la preservación de la biodiversidad y de los ecosistemas. Involucra un estudio de los beneficios y consecuencias respecto al grado de renovación de recursos y generación de residuos o emisiones.

Como es notable, dentro del contexto desarrollo sostenido, es trascendental buscar nuevas oportunidades tecnológicas basadas en energías renovables o amigables con el medio ambiente ya que, la producción económica versa principalmente en el consumo de fósiles y energía nuclear cuyo carácter es finito o agotable. Dada la naturaleza de estos recursos, en un momento determinado la demanda por estas fuentes energéticas no podrá satisfacerse originando que los sistemas económico, social y ambiental colapsen.

El objetivo de este trabajo radica en analizar las preferencias de las personas hacia la generación de electricidad a través de energías renovables,

entendidas como aquellas producidas a partir de fuentes respetuosas con el medio ambiente. Para tal efecto, se utiliza la metodología Experimentos de Elección aplicada a una muestra significativa de los habitantes de la ciudad de Toluca, Estado de México. Los resultados relevantes en torno a esta investigación señalan que, contrario a la Teoría de Iglenhart, economías en vías de desarrollo le otorgan mayor importancia a valores postmaterialistas (particularmente, el medio ambiente) sobre valores puramente materialistas. Específicamente, a partir de la muestra analizada es posible inferir que los habitantes del municipio de Toluca prefieren una política de energía renovable que reduzca la emisión de gases de efecto invernadero en contraposición con alguna otra medida más contaminante aunque creadora de empleos.

Asimismo, los hallazgos presentados no son generalizables debido a que se trata de un estudio de caso, describen una panorámica de las preferencias del consumidor que revelan una mayor consciencia de las personas hacia los efectos negativos que implica generar energía eléctrica utilizando combustible fósil como insumo central. Igualmente, este análisis propone una metodología utilizada en otros sectores como la mercadotecnia, que puede aplicarse a otros contextos y con ello, servir de base para enunciar políticas públicas enfocadas a la generación de energía amigable con el medio ambiente.

El trabajo se halla estructura en tres secciones y un apartado de conclusiones. La primera, aborda la definición de energías renovables a partir del marco desarrollo sostenido. La segunda, los enfoque disposición marginal a pagar y Experimentos de Elección. La tercera parte, analiza las preferencias de los habitantes de la ciudad de Toluca respecto al uso de energías renovables para la generación de electricidad, utilizando para ello la metodología dada por las perspectivas Experimentos de Elección y disposición a pagar.

1. ENERGÍAS RENOVABLES Y SOSTENIBLES EN EL MARCO DEL DESARROLLO SUSTENTABLE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

En términos económicos, las principales vertientes advierten que la industrialización y el crecimiento de los países se hallan fundados en la satisfacción de las necesidades humanas mediante la acumulación de bienes tangibles; excluyendo de sus explicaciones la trascendencia de factores medioambientales y energías renovables. No obstante, desde los años ochenta del siglo XX, es notoria la preocupación de las naciones por incentivar la economía incorporando elementos que permitan cuantificar y amortiguar el impacto ecológico derivado de las actividades productivas. Bajo esta panorámica emergen los conceptos sustentabilidad y sostenibilidad. Aunque es debatible el empleo de ambos términos como sinónimos, es posible dilucidar nítidas diferencias entre ellos.

Al respecto, la noción sustentabilidad encuentra su antecedente inmediato en el informe *Los límites del crecimiento*, publicado en 1972 por el Club de Roma¹. En éste se hace alusión a los cambios producidos en el planeta consecuencia del actuar humano; en particular, critica la importancia otorgada al crecimiento económico como objetivo central de los gobiernos, colocando al aspecto ambiental en una posición nula o marginal².

Por su parte, el Informe Brundtland (1987), también conocido como *Nuestro Futuro Común*, elaborado por la Comisión Mundial sobre Medio

¹ Además de otorgar relevancia al aspecto ecológico en cuestiones económicas, la trascendencia de este informe radica en que dio origen a movimientos como la economía política y el ambientalismo.

² Para explicar este contexto, Ignacy Sachs (consultor de Naciones Unidas para temas de medioambiente y desarrollo) propuso la palabra ecodesarrollo para referir a entornos que buscan conciliar el aumento de la producción y el respeto al medio ambiente (Moreno, 2007)

Ambiente y Desarrollo, constituye un parteaguas en los estudios sobre medioambiente y energías renovables al incorporar explícitamente la noción desarrollo sustentable (*sustainable development*), que alude a la satisfacción de las necesidades humanas presentes sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras. Este documento fortalece las críticas hacia el modelo de desarrollo económico, enfatizando sobre la incompatibilidad entre las formas de producción/consumo y la utilización racional de los recursos naturales y los ecosistemas.

Otra de las aportaciones del Informe reside en la visión sistémica otorgada al desarrollo sustentable al afirmar que para lograrlo es indispensable un contexto político que asegure la participación ciudadana en la toma de decisiones; un entorno económico que genere excedentes y conocimientos sobre bases autosustentables y autosuficientes; un panorama social que provea soluciones para el desarrollo no armónico; un sistema de producción que respete la preservación de los ecosistemas; y una base tecnológica capaz de innovar continuamente.

Por su parte, la utilización del término sostenible tiene sus orígenes en la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo (1992) y la Declaración de la Carta de la Tierra (1997). En éstos se aborda de forma explícita el tema del impacto ambiental producto de las diversas actividades humanas (Hollman, 2017).

En particular, la Declaración compromete a los gobiernos de 179 países a adoptar el Programa *Agenda 21* como forma de abordar la problemática inherente al medioambiente y los desafíos que plantea el siglo XXI, esencialmente, plantea de qué manera podrían generarse energías alternativas y renovables encaminadas a conservar los recursos escasos limitados del

planeta. Además, en contraposición, con otros documentos precedentes, la Declaración plantea el tópico relativo a la explosión demográfica y la sostenibilidad; ya que el deterioro del medioambiente es también consecuencia de la combinación del crecimiento de la población mundial y la producción para el consumo (Hollmann, 2017)

Así, se abandona la idea de un crecimiento económico ilimitado abogando por la capacidad restringida del mundo en términos medioambientales, y proponiendo a su vez, planteamientos y soluciones globales, dada la interconexión entre países y sus problemas. Es también a partir de esta Declaración que se asume el término inglés *sustainable development* para referir al desarrollo visto de manera holística al incorporar aspectos económicos, sociales y ambientales; emergiendo paralelamente, el debate relativo a si deben emplearse como sinónimos las nociones sustentable y sostenible o éstas incluyen aspectos diferentes.

Para expertos en la materia, la confusión se suscita debido a cuestiones de traducción del inglés a castellano. Al respecto, la palabra *sustainable* de la lengua anglosajona, en la que se publican la mayoría de los documentos oficiales de la Organización de las Naciones Unidas, posibilita varias alternativas de traducción como sostenible, sustentable y perdurable; sin que ello signifique divergencias notables entre sostenible y sustentable. Por su parte, para otros autores, el desarrollo sustentable es un proceso mediante el cual se preservan, conservan y protegen los recursos naturales para beneficio de la especie humana sin considerar el estudio de los sistemas sociales, políticos y culturales; en contraste, el desarrollo sostenido indaga un tipo de crecimiento prevaleciente a lo largo del tiempo orientado a bienestar económico a las generaciones actuales y futuras, considerando para ello, las necesidades ambientales, sociales, políticas y culturales.

Para Rodríguez y Govea (2006), la divergencia entre sustentable y sostenible debe ser expresamente clarificada dado que no sólo está referida a una diferencia semántica, sino que reviste implicaciones sociales, demográficas, culturales, valorativas, económicas y políticas. En esta panorámica, los autores describen la transición del desarrollo sustentable hacia el desarrollo sostenido (Cuadro 1).

Igualmente, concuerdan en que el desarrollo sostenido es un concepto inclusivo que va más allá de consideraciones ambientales. En este sentido, plantean que la sostenibilidad debe circunscribir cinco aspectos. El primero, criterios de adecuación y pertinencia respecto al uso de los recursos. El segundo, desarrollo de alternativas que conduzcan a la especie humana a ser menos depredadora. El tercero, empleo industrial de tecnología limpia, menos contaminante y más comprometida con el bienestar de la población. El cuarto, la consolidación de una cultura política orientada hacia el compromiso y la responsabilidad social y, el quinto, refiere a la revalorización de las actitudes y conductas basadas en valores éticos.

Cuadro 1: Desarrollo Sustentable versus Sostenible

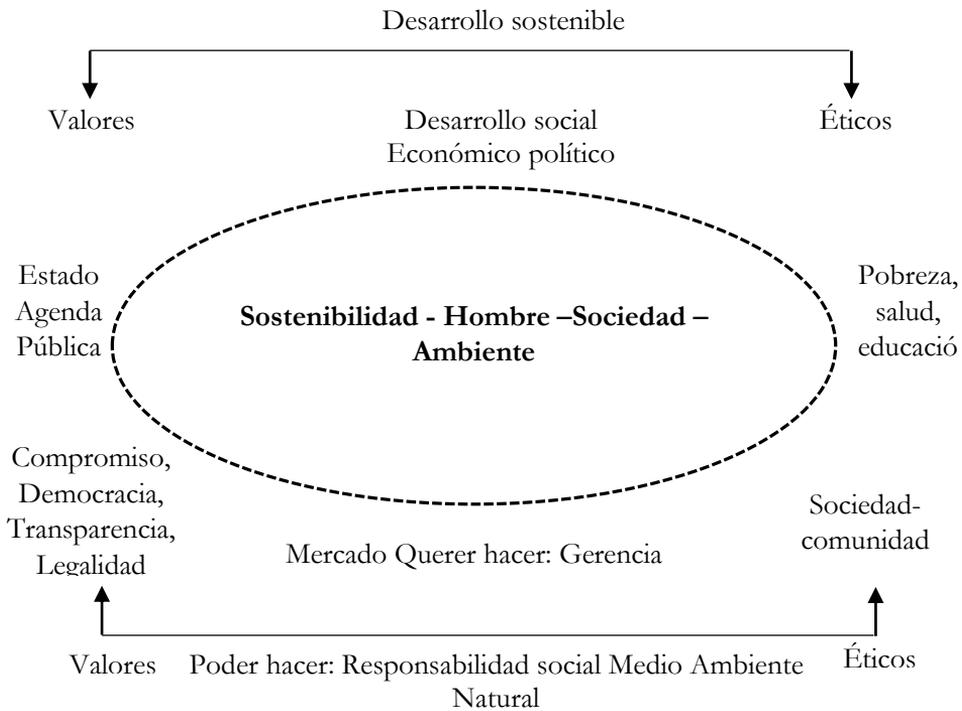
Enfoques	Papel de la economía	Concepción de la naturaleza	Papel de la tecnología	Políticas	Metarrelato	Doctrina
Sustentable	Crecimiento económico ilimitado Antinaturalismo	Explotación de todos los recursos. La tecnología resolvería la escasez	Soluciones técnicas mixtas para revertir los efectos de la degradación entrópica*	Ciertas reestructuraciones de las instituciones. Modificación mero proteccionismo Conservacionismo.	Promover crecimiento económico. Conservacionismo ambiental.	Antropocéntrica**
Sostenible	Desarrollo económico Social ambientalmente adecuado. Ambientalismo. Ecoambiental. Socioambiental. Sociocultural Ambiental	Gestión y protección del medio ambiente y la biodiversidad. Reapropiación sociocultural de la naturaleza	Tecnologías limpias. Patrones tecnológicos que no deterioren el medio ambiente. Revalorización cultural de la Tecnología.	Democratización con una gestión participativa no solo económica sino política cultural, social y gerencial. Gobernanza. Control Social.	Valores Éticos. Compromiso. Responsabilidad Social Compartida. Empoderamiento Ciudadano	Conciencia Cívica. Capacidad Asociativa. Confianza. Conducta Ética. Creatividad. Conocimiento proactivo.

* Se refiere a que los organismos vivos generan su organización a partir de la degradación del resto de sistemas que conforman su entorno. Por ello los sistemas auto organizados o sistemas vivos serán dependientes del orden y organización presentes en su entorno, que sea capaz de ser desorganizado por ellos mismos, con la finalidad de obtener energía para su mantenimiento (Antequera, 2012).

** El hombre es situado como centro del universo.

Adicionalmente, Rodríguez y Govea (2006) otorgan al Estado y sus instituciones una posición fundamental ya que son los agentes encargados de crear instrumentos legales y de participación dirigidos a limitar el uso inadecuado de los recursos y a posibilitar la participación activa de la ciudadanía en la defensa de aquellos bienes sociales, culturales, económicos y naturales comunes que constituyen su acervo sociohistorico y cultural. Dados estos elementos, proponen un esbozo respecto a la dinámica de la sostenibilidad del desarrollo, el cual involucra la participación de la sociedad en su conjunto para atender problemas relativos al medioambiente, la pobreza y el desarrollo económico (figura 1).

Figura 1: La dinámica de la sostenibilidad del desarrollo



Fuente: Rodríguez y Govea (2006: 50)

Por su parte, Leff (2003) en el marco de la explicación respecto a la urgencia de una ecología política acepta que es posible dilucidar una diferencia entre desarrollo sostenible y sustentable, sin embargo, puntualiza que centrarse en este debate oculta la real crisis ambiental y ecológica derivada de la actividad económica. Apunta que el modelo capitalista representa un esquema degradador del ambiente, inserto en una sociedad depredadora, utilitarista y egoísta dado que busca su bienestar sin importar el de sus semejantes.

De la revisión precedente, la sustentabilidad y sostenibilidad convergen en observar el deterioro del medioambiente ante la actividad humana. Además, concuerdan en la preocupación de generar un proceso de largo plazo que mejore la calidad de vida de la sociedad y disminuya la pobreza. Por tanto, en este trabajo se asume el uso indistinto de los términos sostenible y sustentable.

A partir de ello, la sustentabilidad o sostenibilidad se propone analizar el uso de energías renovables a partir de tres dimensiones (económica, sociocultural y ambiental) y tres elementos centrales: las personas, el territorio en su dimensión geomorfológica y el tiempo (Díaz, 2011).

La dimensión económica enfatiza en compatibilizar el interés en la maximización de las ganancias empresariales y el bienestar de la población con el empleo eficiente de los recursos naturales. En ésta, la comunidad materializa su actuar a través del territorio y éste a su vez, refleja la forma en que se emplean los sistemas naturales. El escenario sociocultural es un proceso de diálogo continuo que implica aprendizaje y construcción colectiva de ideas y propuestas con la finalidad de lograr un uso óptimo de los recursos; y la dimensión ambiental, alude a la forma de comprender la naturaleza y fomentar

el interés entre las personas concerniente al impacto de las perturbaciones ambientales sobre la vida en el planeta (Díaz, 2011).

Relativo a la cuantificación del desgaste de la naturaleza provocado por la actividad humana, se han planteado una serie de indicadores de sustentabilidad, mismos que constituyen sistemas de señales que permiten a los gobiernos, empresas y sociedad en general; evaluar su progreso en la gestión ambiental o su grado de desarrollo sustentable. Estos indicadores no arrojan resultados sobre una variable ecológica particular (por ejemplo, calidad del agua) sino muestran hallazgos consecuencia de la actuación de una red de interacciones entre el medioambiente, la economía y la sociedad¹ (Díaz, 2011).

En síntesis, con la finalidad de diseñar una aproximación metodológica y aplicada que permitan visualizar una aproximación de la relación entre sostenibilidad y las energías renovables se sugiere analizar empíricamente, las preferencias de la población respecto al uso de energías renovables ya que de ello depende la enunciación de políticas públicas que faculten incentivar el desarrollo en términos sostenibles.

2. DISPOSICIÓN MARGINAL A PAGAR Y EXPERIMENTOS DE ELECCIÓN

Con la finalidad de valorar las preferencias de los individuos respecto a un bien o servicio vinculado con el medio ambiente, se han enunciado diversos enfoques etiquetados como indirectos y directos. Los primeros, también llamados métodos de preferencias reveladas, consisten en inferir el valor que las personas confieren al recurso en cuestión analizando su comportamiento en

¹ Por ejemplo, los recursos naturales proveen los materiales para la producción de los cuales dependen el empleo y las ganancias de los empresarios. Los empleos afectan la tasa de pobreza y ésta puede relacionarse con el crimen. La calidad del aire, el agua y materiales que se usan para la producción tienen un efecto sobre la salud que al mismo tiempo pueden tener impacto sobre la productividad y las ganancias empresariales (Díaz, 2011)

los mercados con los que el factor ambiental se encuentra relacionado; en tanto, los directos son utilizados ante la ausencia de mercados propios o vinculados con el activo ambiental y se llevan a cabo simulando la creación de un mercado e infiriendo a partir de ello, el valor económico que los individuos otorgan al bien. Además, generalmente se basa en aplicar cuestionarios a una muestra representativa de la población de usuarios o consumidores potenciales posibles de bien en cuestión² (Herruzo, 2002). En México, es notable la inexistencia de mercados de energías renovables para la generación de energía eléctrica por lo que los métodos directos asumen especial relevancia.

Una forma de evaluar de manera directa la valoración de las personas hacia el suministro de energía eléctrica es a través de la noción Disposición a Pagar (DAP) que señala la cantidad máxima que un consumidor estaría dispuesto a pagar por un bien o servicio (Cruz, 2005). Para efecto de calcular tal disposición, se han utilizado diversos enfoques entre los que destacan la Valoración Contingente (VC) y los Experimentos de Elección.

La Valoración Contingente (VC) que se caracteriza por crear un mercado hipotético, en el que los individuos encuestados declaran sus preferencias, al tiempo que expresan su disposición a pagar³ (Carson, 2000; Mitchell y Carson, 1989)

² Debido a la carencia en México de un mercado de energías renovables, la presente investigación se basa en métodos directos de valoración.

³ Al respecto, existen investigaciones que valoran la disposición marginal a pagar a partir del enfoque valoración contingente. Algunos de estos trabajos son los elaborados por Nomura y Akai (2004) y Bollingo (2009) quienes analizan los casos de Japón e Italia, respectivamente; Whitehead y Cherry (2007) y Champ y Bishop (2001) estiman estos factores para Carolina del Norte y Madison, Wisconsin; en tanto, Wiser (2003) utiliza el cálculo de la disposición a pagar por energía renovable para los cincuenta estados de la Unión Americana.

La perspectiva Experimentos de Elección (EE) consiste en analizar el comportamiento de los potenciales consumidores a partir de estimar la maximización de su utilidad. Específicamente, define una serie de escenarios hipotéticos, con un número limitado de características o atributos, en los que los encuestados eligen uno o varios de ellos, en concordancia a sus preferencias declaradas⁴.

Realizar en términos prácticos un estudio basado en Experimentos de Elección requiere que el investigador cuente con dos tipos de información: por un lado, la estructura de preferencias de las personas; y por otra parte, los atributos que caracterizan cada una de las ramas del árbol de preferencias y el vínculo existente entre dichos atributos.

El método Experimentos de Elección ostenta ventajas en contraste con el enfoque Valoración Contingente, entre estas pueden señalarse: a) los experimentos de elección es una perspectiva más amplia basada en atributos, a diferencia de la valoración contingente que únicamente se ocupa de detalles inherentes al caso en estudio; b) el enfoque experimentos de elección se centra en las compensaciones a través de varios atributos y no sólo en el precio (o pago); c) el contexto en que se desenvuelven los experimentos de elección posibilita la construcción del conjunto de preferencias y elimina la influencia de elementos heurísticos dados en las respuestas de los encuestados, lo que proveerá información menos sesgada (Adamowics et al., 1998). Debido a

⁴ Este método ha sido utilizado ampliamente en fechas recientes. Al respecto, Roe et al (2001) analizan la demanda de atributos inherentes a los servicios eléctricos por medio de energías renovables en diferentes ciudades de los Estados Unidos; Borchers et al (2007) evalúan la disposición a pagar por electricidad para ciertas fuentes de energía renovable (solar, eólica y biomasa) en una muestra de New Castle County, Delaware. De igual manera, Longo et al (2008) calculan la disposición a pagar en un programa hipotético que promueve la producción de energía renovable en una localidad de Inglaterra.

estos factores se considera adecuado retomar el punto de vista Experimentos de Elección para analizar las preferencias de las personas radicadas en la ciudad de Toluca para utilizar energías renovables en la generación de energía eléctrica. Dado la importancia de este método para la presente investigación, es necesario indagar los aspectos metodológicos que implica el enfoque Experimentos de Elección.

Al respecto, la perspectiva Experimentos de Elección posee fundamentos teóricos y econométricos; dentro de los primeros, se halla el modelo de elección de consumo de Lancaster (1996); mientras, en los segundos se encuentra la perspectiva utilidad aleatoria (Luce, 1959; McFadden, 1974).

De acuerdo con el enfoque teórico de Lancaster (1996), el consumidor demanda bienes o servicios en virtud de sus características o propiedades y son esas particularidades, y no los bienes en sí, los que generan utilidad.

Relativo a la utilidad aleatoria, señala que un individuo perfectamente racional opta por aquella alternativa que le otorga mayor utilidad esperada (Luce, 1959; McFadden, 1974). En términos prácticos, tal estimación se realiza una vez obtenidas las respuestas de los encuestados, mismas que deben ser empleadas para valorar las tasas marginales de sustitución entre diferentes atributos. Así, el modelo supone respuestas a preguntas de elección conjunta y asume que la opción seleccionada por el encuestado está determinada por su función de utilidad subyacente o indirecta. Matemáticamente, dicha función se halla compuesta por dos elementos: el primero, es de carácter determinístico, ligado a atributos y alternativas dadas por parámetros desconocidos individuales; y el segundo, representado por los términos de error. Formalmente esta expresión es:

$$V_{ik} = \bar{V}(\mathbf{x}_{ik}, \boldsymbol{\beta}) + \varepsilon_{ik} \quad (1)$$

Donde V es la función de utilidad indirecta; i denota el encuestado; k refiere la alternativa; \mathbf{x} es un vector uno por cuatro, integrado por 4 atributos; $\boldsymbol{\beta}$ es un vector cuatro por uno de coeficientes desconocidos y; ε denota un término de error que captura los factores específicos del individuo “ i ” y de las alternativas que influyen en la utilidad, pero que no es observable por el investigador.

La información dada por la función de utilidad indirecta debe ser completada con la estimación del modelo logit condicional, el cual amplía la panorámica de las preferencias de los consumidores respecto al uso de energías renovables, ya que expresa la probabilidad de que el encuestado i seleccione la alternativa k de las K alternativas disponibles⁵ (Kanninen, 2007). En particular, calcular este enfoque conlleva estimar los coeficientes $\boldsymbol{\beta}$ por medio del método de máxima verosimilitud; siendo la expresión completa:

$$LnL = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K y_{ik} \cdot Ln\pi_{ik} \quad (2)$$

donde y_{ik} es un indicador binario que puede asumir los valores entre 0 y 1: 1 si el encuestado i elige la alternativa k , y cero, en caso contrario.

Una vez estimada la función de utilidad indirecta y la ecuación de máxima verosimilitud, es posible valorar el precio marginal o valor monetario

⁵ Este enfoque es aplicable cuando los términos de error ε son independientes, idénticamente distribuidos y tienen una distribución de probabilidad Valor Extremo Tipo I.

de la utilidad proveniente de una unidad adicional del atributo k , a través de la ecuación:

$$MP_k = -\frac{\hat{B}_k}{\hat{B}_c} \quad (3)$$

donde \hat{B}_k es la utilidad proveniente una unidad adicional del atributo k y \hat{B}_c es el coeficiente del atributo correspondiente.

En suma, las ecuaciones para estimar la utilidad indirecta, la máxima verosimilitud y el precio marginal, posibilitan apreciar las preferencias basadas en los intercambios entre cualquier par de atributos, así como la disposición al pago y el precio por diferentes programas hipotéticos que promuevan el uso de energía renovable; sin embargo, un aspecto de suma importancia que debe considerar el investigador es que el enfoque Experimentos de Elección necesariamente requiere que se presente a los encuestados una descripción clara y real de los atributos a evaluar. Además, se debe tomar en cuenta que dichas particularidades deben ser relevantes, reales y consistentes con el contexto social, económico y de políticas gubernamentales.

3. PREFERENCIAS DE LOS HABITANTES DE LA CIUDAD DE TOLUCA RELATIVAS AL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA: METODOLOGÍA Y RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Metodología de investigación

Con la finalidad de indagar las preferencias de las personas respecto a la generación de electricidad por medio de energías renovables en la ciudad de Toluca, se aplicó un cuestionario estructurado en torno a tres segmentos. El

primero, incluyó preguntas de opinión acerca del conocimiento que posee el encuestado sobre el tipo de energía existente para la producción de electricidad. El segundo, trata de introducir implícitamente a la perspectiva Experimentos de Elección (EE) mediante tres secuencias: 1) proporcionar información referente a las ventajas del uso de las diferentes fuentes de energía renovable para la generación de electricidad, 2) mostrar al encuestado una secuencia de seis conjuntos de elección incluyendo cada uno dos diferentes políticas hipotéticas y; 3) solicitar al encuestado la elección de una alternativa entre las dos posibilidades o la opción *status quo* (sin cambio alguno). Finalmente, el tercer segmento consistió en cuestionar aspectos generales como la edad, sexo y nivel de educación.

La selección de las personas susceptibles de estudio se llevó a cabo siguiendo la metodología de Champ (2003) según la cual los individuos que poseen conocimiento inherente al pago de los servicios domésticos (luz, agua, teléfono) son quienes acuden a los centros comerciales con la finalidad de adquirir suministros para cubrir las necesidades del hogar. Así, para elegir a los posibles encuestados se consideraron dos elementos. En primer término, se optó por acudir a tres centros comerciales ubicados en zonas geográficas estratégicas para el municipio de Toluca⁶ y, en segundo lugar, se eligieron aquellos individuos que desembolsan recursos para cubrir el pago correspondiente al suministro eléctrico. La encuesta señalada fue realizada en el periodo comprendido entre el 20 de octubre y el 8 de noviembre del año 2012.

⁶ El municipio de Toluca se compone de 97 localidades; está conformado por una población de 819,561 habitantes, forma la quinta zona metropolitana más habitada de México, (INEGI, 2010).

Dada la trascendencia de contar con resultados estadísticamente confiables, se seleccionó una muestra significativa considerando un nivel de confianza del 95 por ciento y un error máximo aceptable del 5%. Al respecto, la población total usuaria del suministro eléctrico en el municipio de Toluca es de 194,760 personas, por lo que para obtener deducciones válidas se debían aplicar 383 cuestionarios, sin embargo, fueron respondidos 392 con lo cual se obtuvieron 2255 observaciones efectivas, correspondientes a un porcentaje de respuesta igual a 95.

Para verificar el tiempo, la validez y facilidad de respuesta a las preguntas contenidas en el cuestionario, preliminarmente se aplicaron 33 de ellos como instrumento piloto en dos centros comerciales localizados en Toluca.

Respecto a la estimación del modelo econométrico, fue necesario verificar previamente la validez de las respuestas a través de dos aspectos. El primero, considerando la escala de Likert con valores de 1 a 5, en donde 1 señala que el encuestado reconocía que la explicación al ejercicio Experimentos de Elección era muy difícil y 5 en caso de apreciarla como muy sencilla. El promedio otorgado a esta cuestión fue de 3.30, mostrando que los encuestados consideraron sencilla la ilustración al método Experimentos de Elección. El segundo elemento se halló en la pregunta final del cuestionario donde se inquiría respecto al entendimiento de la perspectiva Experimentos de Elección, obteniéndose un 97 por ciento de respuestas afirmativas.

Una vez verificada la validez del instrumento de investigación y las respuestas contenidas en el mismo, los coeficientes del modelo econométrico fueron estimados con el software estadístico R.

A partir de este software, se calcularon la utilidad indirecta, la máxima verosimilitud y el precio marginal a pagar por la generación de electricidad por medio de energías renovables.

La función de utilidad indirecta incluyó al vector x integrado por 4 atributos: reducción anual de los gases de efecto invernadero, tiempo promedio anual de interrupción de suministro eléctrico, empleo anual en el sector energético y cuota adicional en el pago del servicio de electricidad. Los resultados proporcionarán una panorámica respecto a la utilidad de los consumidores otorgada a los atributos antes señalados y su disposición marginal a pagar.

Relativo al precio marginal a pagar se analizó considerando los resultados arrojados por los coeficientes \widehat{B}_k y \widehat{B}_c que revelan en conjunto el valor monetario a la utilidad proveniente de una unidad adicional de k .

3.2. Análisis y resultados de investigación

Dados los datos proporcionados, se logró detectar un conjunto de características generales de los encuestados inherentes a elementos de género, edad y nivel de ingreso. En particular, la mayoría pertenece al sexo femenino; se ubican en 41 años como rango de edad y su nivel de ingreso mensual oscila entre \$3,641 y \$6,085⁷ pesos mexicanos. Estos hallazgos comprueban el señalamiento de Champ (2003) ya que se trata de personas con ingreso y conocimiento suficiente respecto al monto pagado por la prestación del suministro eléctrico (tabla 1).

⁷ Pesos mexicanos corrientes al 15 de noviembre de 2012

Tabla 1: Características generales de las personas encuestadas: sexo, edad y nivel de ingreso (porcentaje)

Variable	Porcentaje
Sexo	
Femenino	53%
Masculino	47%
Edad promedio (en años)	41
Nivel de ingresos mensual	
<\$3,640	
Entre \$3,641 y \$6,085	21%
Entre \$6,086 y \$9,003	39%
Entre \$9,004 y \$13,989	17%
>\$13,989	17%
	6%
N=392 observaciones	

Fuente: Elaboración propia en base a encuestas

Referente a la percepción acerca de las diferentes fuentes de energía, en promedio, más del 70% de los encuestados están conscientes que la energía nuclear y la generación de electricidad por medio de combustibles fósiles (gas, petróleo y carbón) no son favorables al medio ambiente. En contraste, en promedio, este mismo porcentaje de personas reconoce como ambientalmente favorables los diferentes tipos de energía renovable: hidroeléctrica, panel solar, viento, mareomotriz y geotérmica (Tabla 2).

Tabla 2: Percepción de las personas acerca de las diferentes fuentes de energía y su impacto en el medio ambiente

Tipo de fuente	¿Es favorable al medio ambiente?		
	Si es (%)	No es (%)	No sabe (%)
Biomasa	21	39	40
Hidroeléctrica	71	22	7
Panel solar	91	6	3
Viento	96	3	1
Mareomotriz	77	10	13
Geotérmica	55	19	26
Gas	39	52	9
Petróleo	16	81	3
Carbón	15	80	5
Nuclear	12	79	9

Fuente: Elaboración propia con base a datos proporcionados por encuestas

Respecto a la estimación de los coeficientes obtenidos por medio del software R, los resultados se muestran en la tabla 3. Al respecto, los hallazgos muestran una bondad de ajuste relativamente alta de acuerdo al índice Cociente de Máxima Verosimilitud⁸ y un valor de Rho Cuadrado de 0.19⁹, por lo que se infiere que el modelo posee buen ajuste. Con el fin de comprobar que los encuestados no seleccionaron sistemáticamente la alternativa A sobre

⁸ El valor de este índice, 954.3, rechaza a menos de 1% de significancia, la hipótesis que todas las pendientes del modelo son cero (considerando los niveles convencionales de pruebas del cociente de máxima verosimilitud, CMV=76.244).

⁹ De acuerdo a Domencich y McFadden (1975), los valores de Rho Cuadrado ubicados entre 0.2 y 0.4 indican un ajuste alto del modelo en cuestión.

la B, o viceversa, se realizó la prueba de Wald¹⁰ cuyos valores mostraron que se rechazaba la hipótesis nula.

Tabla 3: Resultados de la estimación del modelo mediante el software R
(modelo Logit Condicional)

	Coefficiente	Z	Pr(> z)
Constante	0.9972	6.46	1.04e-10 ***
Reducción de gases de efecto invernadero	0.2558	6.567	5.12e-11 ***
Tiempo promedio anual de interrupción de suministro eléctrico	-0.1781	-4.198	2.69e-05 ***
Empleo anual en el sector eléctrico	0.0000211	17.364	< 2e-16 ***
Cuota adicional en el pago del servicio de electricidad	-0.002834	-7.99	1.33e-15 ***
Prueba de máxima verosimilitud=	954.3 ***		
Prueba de Wald =	738 ***		
Rho-cuadrada =	0.1926008		

*** Significativo al 0.001

Fuente: Elaboración propia con base a datos proporcionados por encuestas

De la tabla 3, es palpable que los coeficientes del modelo son significativos al 1% lo cual indica resultados confiables. Un hallazgo importante radica en el valor negativo mostrado en los atributos “cuota

¹⁰ La prueba Wald permite contrastar hipótesis donde se trata de observar la coherencia de afirmar un valor concreto de un parámetro de un modelo probabilístico, una vez que se tiene un modelo seleccionado y ajustado. Suele usarse especialmente para contrastar si es cero o no un determinado coeficiente que multiplica a una variable independiente en una regresión. Si el p-valor es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula que afirma que ese coeficiente es cero, y se entiende entonces que ese coeficiente no es cero y que, por lo tanto, el modelo es útil para representar una determinada relación. Si, por el contrario, el p-valor es mayor que 0.05 eso significa que el valor del coeficiente podría ser perfectamente cero y por lo tanto, esa variable no influye en la determinación de la variable dependiente del modelo de regresión (Llopis, 2014).

adicional en el pago del servicio de electricidad” y “tiempo promedio anual de interrupción de suministro eléctrico”; el primero, significa la no disposición de los encuestados a pagar un precio alto por la generación electricidad a través de energías renovables, en tanto, el segundo, señala la aversión de las personas encuestadas a cortes muy prolongados en el suministro de energía eléctrica.

Referente al signo positivo de los coeficientes “reducción de gases de efecto invernadero”, “empleo anual en el sector energético” y en la constante de modelo, estos tienen significados distintos. Por un lado, describen que los encuestados están a favor de una política que reduzca la emisión de gases de efecto invernadero y que respalde la creación de nuevos empleos en el sector energético; y por otra parte, el signo positivo observado en la constante puntualiza que se prefiere una política que promueva la implementación de energías renovables en comparación con el *status quo*.

Los hallazgos descritos precedentemente también se encuentran vinculados con la estimación de la disposición marginal a pagar. Específicamente, el método Experimentos de Elección posibilita evaluar los cambios en el bienestar mediante una medida monetaria que los encuestados le otorgan a un atributo no cuantificable monetariamente en el mercado.

Los resultados de la disposición marginal a pagar¹¹ para cada uno de los atributos analizados se muestran en la tabla 4. En ésta, es palpable que, en

¹¹ La estimación de la disposición marginal a pagar de cada uno de los atributos estudiados, se realiza mediante el cociente del coeficiente de cada uno de los atributos entre el coeficiente negativo del precio. Por ejemplo, para calcular la DAP marginal para el atributo "Reducción de gases de efecto invernadero", se tiene:

$$DAP_{\text{marginal}}_{\text{GasInver}} = \frac{\text{GasInver}}{\text{Precio}}$$

orden de importancia, las personas encuestadas ponderan sus preferencias en torno a la reducción de gases de efecto invernadero; los cortes de energía eléctrica y la generación de empleos del sector eléctrico.

Tabla 4: Disposición marginal a pagar (pesos)

Atributo	DAP marginal (pesos)	Intervalo de Confianza	
		5%	95%
Reducción de gases de efecto invernadero	90.261491	66.712569	120.850863
Tiempo promedio anual de interrupción de suministro eléctrico	-62.859942	-96.568742	-35.983915
Empleo anual en el sector eléctrico	0.007445	0.006174	0.009328

Fuente: Elaboración propia con base a datos proporcionados por encuestas

De los resultados de la tabla 4, en términos monetarios los encuestados están dispuestos a pagar \$90 pesos adicionales en su recibo de luz por disminuir en uno por ciento los gases de efecto invernadero; \$62 pesos para reducir en un minuto los cortes en el suministro eléctrico; y \$0.00745 pesos para crear un empleo en el sector eléctrico.

En suma, a partir del análisis de las preferencias sociales de los habitantes de la ciudad de Toluca, relativas al uso de energías alternativas para la generación de electricidad, se infiere que la población estudiada le otorga mayor valor a las energías renovables amigables con el medio ambiente. Lo anterior implica que en la actualidad, los individuos otorgan importancia a factores medioambientales por encima de aspectos netamente económicos como el empleo o la reducción de cuotas por el suministro eléctrico.

CONCLUSIONES

En la actualidad, debido al deterioro del medio ambiente, una de las preocupaciones principales de las sociedades radica en desarrollar nuevas tecnologías para la generación de energía por medio de recursos renovables. Dado este contexto, el objetivo de este trabajo se centró en analizar las preferencias de las personas hacia la generación de electricidad a través de energías renovables, entendidas como aquellas producidas a partir de fuentes respetuosas medioambientalmente. Para ello, se utilizó la metodología Experimentos de Elección aplicada a una muestra significativa de los habitantes de la ciudad de Toluca, Estado de México.

Los hallazgos relativos a esta investigación refutan la Teoría de Iglenhart ya que muestran que una economía desarrollo le otorgan mayor importancia a valores postmaterialistas (particularmente, el medio ambiente) sobre valores puramente materialistas.

Al respecto, a partir de la muestra analizada es posible inferir que los habitantes del municipio de Toluca prefieren una política de energía renovable que reduzca la emisión de gases de efecto invernadero en contraposición con alguna otra medida más contaminante aunque creadora de empleos. De esta forma, puede deducirse que las personas están conscientes de la problemática inherente al uso de combustible fósil como fuente principal para producir energía eléctrica.

En particular, los individuos encuestados prefieren medidas que fomenten la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, sin demasiados cortes en el suministro de luz; sobre aquellas contaminantes pero creadoras de empleo.

Asimismo, aunque los encuestados no están dispuestos a pagar un alto costo monetario por la generación de electricidad mediante energías renovables, señalan que es preferible su implementación ya que este cambio tecnológico implicaría reducir la contaminación en el medio ambiente.

En términos monetarios, las preferencias de las personas por el uso de energías renovables para la generación de electricidad pueden analizarse por medio de los resultados observados en la disposición marginal a pagar. Es ésta, los individuos aluden que estarían dispuestos a pagar 90 pesos adicionales para reducir en uno por ciento los gases de efecto invernadero; 62 pesos para disminuir en un minuto los cortes en el suministro eléctrico; y 0.00745 pesos por fomentar la creación de un empleo en el sector eléctrico.

Cabe mencionar que los hallazgos descritos en esta investigación no son generalizables ya que se obtuvieron a partir de una muestra representativa inmersa en un contexto geográfico específico; no obstante, describen una panorámica de las preferencias del consumidor que revelan una mayor consciencia de los efectos negativos inherentes a la generación de electricidad utilizando combustible fósil como insumo central.

Finalmente, se utilizó una metodología que puede aplicarse a otros contextos y con ello, servir de base para analizar las preferencias de las personas y enunciar políticas públicas enfocadas a la generación de energía amigable con el medio ambiente.

Referencias bibliográficas

- Adamowics, W., Louviere, J. y Swait, J. (1998). Introduction to Attribute-Based Stated Choice Methods. Report to NOAA. Resource Valuation Branch, Damage Assesment Centre.
- Antequera, J., 2012, Propuesta metodológica para el análisis de la sostenibilidad regional. Tesis Doctoral. Programa de doctorado en Sostenibilidad. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Bollingo, C., (2009). "The willingness to pay for renewable energy sources: the case of Italy with socio-demographic determinants". The Energy Journal Issues, Vol.30, No.2, p. p. 81-96.
- Borchers, A., Duke M., y Parsons G., (2007). "Does willingness to pay for green energy differ by source?", Energy Policy, Vol. 35, No. 6, p.p. 3327-3334.
- Carson, R. (2000). "Contingent Valuation: A User's Guide". Environmental Science Technology, 34, p.p. 1413-1418.
- Champ, P. (2003). Collecting survey data from nonmarket valuation. En Champ, P., Boyle, K. y Brown, T. A Primer on Nonmarket Valuation. The Economics of Non-Market Goods and Resources. Kluwer Academic (p.p. 59-98). Holanda.
- Champ, P. y Bishop, C., (2001). "Donation payment mechanisms and contingent valuation: an empirical study of hypothetical bias". Environmental Resource Economics, Vol. 19, No. 4, p.p. 383-402.
- Cruz, G. (2005). Economía aplicada a la valoración de impactos ambientales. Editorial Universidad de Caldas: Colombia.
- Díaz, R. 2011. *Desarrollo sustentable. Una oportunidad para la vida* (2ª ed.), Mc Graw Hill, Distrito Federal, México.
- Domencich T, y McFadden D., (1975) Urban travel demand: a behavioural approach. North-Hol- land Publishing Company. Amsterdam, Holanda.
- Fernández, L. y M. Gutiérrez, 2013, Bienestar Social, Económico y Ambiental para las Presentes y Futuras Generaciones. *Información Tecnológica*, Vol. 24(2): 121-130.

- Franzen, A., (2003). "Environmental Attitudes in International Comparison: Analysis of ISSP Surveys 1993 and 200". *Social Science Quarterly*, Vol. 8, No. 2.
- Herruzo, C. (2002). Fundamentos y métodos para la valoración de bienes ambientales. Jornada Temática "Aspectos Medioambientales de la Agricultura. Libro Blanco de la Agricultura y Desarrollo Rural. España.
- Hollmann, M. (2017). Construcción histórica del actual concepto de desarrollo sostenible. Antecedentes problemáticas socioeconómicas y ambientales, *Ciencias Administrativas*, 10.
- Informe Brundtland (1987). Disponible en: <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/42/427>.
- Inglehart, R. (1991). El cambio cultural en las sociedades industriales avanzadas. CIS, Madrid, p. p. 539.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, (2010). Cartografía geoestadística urbana de Toluca, <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825590253&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=3594&pg=0&ct=201100000>> (Septiembre de 2012).
- Jarauto, L. (2014). Las energías renovables, Editorial VullSaber: España.
- Kanninen, B. (2007). Valuing environmental amenities using choice studies. Dordrecht: Springer. Arlington, Virginia.
- Lancaster, K. (1996). "A new approach to consumer theory", *Journal of Political Economy*, Vol. 74, No. 2.
- Llopis, J. (2014). La estadística: una orquesta hecha instrumento. Test de Wald. Disponible en: <http://estadisticaorquestainstrumento.wordpress.com>.
- Longo, A., Markandya, A. y Petrucci, M., (2008). "The internalization of externalities in the production of electricity: willingness to pay for the attributes of a policy for renewable energy". *Ecological Economics*, Vol. 67, No. 1, p.p.140-152.
- Luce, D., (1959). Individual choice behavior: A Theoretical Analysis. Ed, John -Wiley, New York.

- McFadden, D., (1974). Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. Zarembka. Ed. Frontiers in Economics, New York.
- Mitchell, R. y Carson, R., (1989). Using Survey to Value Public Goods. Resources for the future. The Johns Hopkins University Press, Washington D. C.
- Moreno, S., 2007, El debate sobre el desarrollo sustentable o sostenible y las experiencias internacionales de desarrollo urbano sustentable. *Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública*, Núm.29.
- Nomura, N. y Akai, M., (2004). "Willingness to pay for green electricity in Japan as estimated through contingent valuation method". *Applied Energy*, Vol.78 No. 9, p.p. 453-463.
- Leff, E., 2003, La ecología política en América Latina. *Sociedade e Estado*, 18(12): 17-40.
- Rodríguez, I. y H. Govea, 2006, El discurso del desarrollo sustentable en América Latina, *Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales*. 12 (2): 37-63.
- Roe, B., Teisl M., Levy A. y Russel, M., (2001). "US consumers' willingness to pay for green electricity". *Energy Policy*, Vol. 29, No. 11, p.p. 917-925.
- Whitehead, J. y Cherry, T., (2007). "Willingness to Pay for a Green Energy program: A Comparison of Ex-Ante and Ex-Post Hypothetical Bias Mitigation Approaches", *Resource and Energy Economics*, Vol. 29, No. 4, p.p. 247-261.
- Wiser, R., (2003). "Using Contingent Valuation to Explore Willingness for renewable energy: A comparison of collective and voluntary payment vehicles", *Ecological Economics*, Vol. 62, p.p. 419-432.
- Xercavins, J; D. Cayuea; G. Cervantes y A. Sabater. (2005). *Desarrollo sostenible*. Editorial UPC: España.