

Estado del arte de modelos y metodologías de indicadores utilizados para evaluar la sostenibilidad energética de las naciones

State of the art models and methodologies of indicators used to assess the energy sustainability of nations

Alberto Martínez¹, Sergio Valero², Carolina Senabre

Resumen

Los responsables políticos, empresarios y legisladores, así como otros agentes del sector energético necesitan fuentes de información fiables, certeras y ágiles que les permitan tomar decisiones en el corto y medio plazo en una materia tan dinámica como es el sector de la energía; por tanto, el tratamiento de la información, así como su puesta a disposición de los agentes, garantizando la inviolabilidad de la identidad de los usuarios, que les permita definir estrategias empresariales, políticas de crecimiento y regulaciones adecuadas, debe ser enfocada a las necesidades reales de información en el sector. Pero, ¿qué variables son las más proporcionadas?, ¿cuál es la definición más cercana al concepto de sostenibilidad energética que podemos utilizar para definir esas variables? No es tarea sencilla debido a la cantidad de interconexiones del sector energético con otras áreas: políticas, sociales, medioambientales y económicas

Palabras clave

Energía, indicadores, electricidad, productividad, eficiencia, sostenibilidad, modelo, comportamiento.

Abstract

Policy makers, businessmen and legislators, as well as other agents in the energy sector, need reliable, accurate and agile sources of information that allow them to make decisions in the short and medium term in such a dynamic area as the energy sector, both, the treatment of the information as well as its availability to the agents, guaranteeing the inviolability of the identity of the users, which allows them to define business strategies, growth policies and adequate regulations, must be focused on the real information needs in the sector. But, what variables are the most proportional? What is the definition closest to the concept of energy sustainability that we can use to define these variables? It is not an easy task due to the interconnections of the energy sector with other areas: political, social, environmental and economic.

Keywords

Energy, indicator, electricity, productivity, efficiency, sustainable, model, behaviour.

Recibido / received: 10/04/2019. Aceptado / accepted: 28/05/2019.

Departamento de Ingeniería Mecánica y Energía. E.P.S., Universidad Miguel Hernandez. Elche, 03202 Alicante (Spain).

² Sergio Valero. E-mail: svalero@umh.es

¹ Autor para correspondencia: Alberto Martínez. E-mail: alberto.martinez@coitilicante.es



La sostenibilidad hídrica está fuertemente vinculada a los tres pilares del desarrollo sostenible (sociedad, naturaleza y economía) Foto: Shutterstock.

1. Introducción al desarrollo sostenible: paradigmas fuerte y débil

Pero antes de abordar el concepto de sostenibilidad energética, se debe fijar la definición de economía sostenible o desarrollo sostenible. Son múltiples los significados y la bibliografía y autores que describen la gran cantidad de matices que adquiere la definición (Pezzey, 1997), (Neumayer, 2003) o (Ciegis, 2009) aunque fue un término utilizado por primera vez en el Informe Brundtland¹, presentado en la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas en 1987 (The World Commission on Environment and Development, 1987) y cuya definición conceptual se establece en “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las futuras para atender sus propias necesidades”.

Es ampliamente reconocido que el desarrollo sostenible consta de tres dimensiones íntimamente relacionadas: medioambiente, economía y sociedad (Munasinghe, 1992) y (Ghosh, 2008), donde cualquier variación en una de ellas afecta de manera significativa a las otras dos (Lior, 2010) y, además, se encuentran estrechamente interre-

lacionadas. Por tanto, una de las premisas fundamentales del desarrollo sostenible como veremos más adelante, será desvincular esa dependencia, y por consiguiente que la variación en una de las dimensiones no influya en el desarrollo y la evolución de las adyacentes.

Para la explicación idónea de estas tres dimensiones se utiliza el diagrama de Venn², en la que mediante representación gráfica permite obtener de manera lógica algunos razonamientos.

Pero el problema se complica de manera contundente incorporando el subsistema energético y las concepciones y definiciones tradicionalistas del concepto de desarrollo sostenible, operativamente recogidas en (Romero, 2014), donde el rol del capital natural es el principal problema a resolver, según la conceptualización operativa del desarrollo sostenible basada en capitales por Neumayer³, que propone proteger los distintos tipos de capitales (monetario, humano, social y natural), que son el medio para satisfacer todas las necesidades humanas. Por tanto, el capital natural será la fuente de las dos principales corrientes de pensamiento: el paradigma fuerte de la sostenibilidad, que propone el capital natural

como límite al crecimiento; y el paradigma débil de la sostenibilidad, que propone permeabilidad entre los diferentes capitales, incluso el natural.

Una representación del desarrollo sostenible utilizando el paradigma fuerte, se muestra en la parte izquierda de la Figura 1, en la que se reconocen los límites infranqueables de la naturaleza que impide un desarrollo de la sociedad y su actividad económica y social en función de esos límites. Este paradigma, como se verá más adelante, no permite desarrollar la conceptualización planteada en este artículo.

La representación que tiene en cuenta el paradigma débil del desarrollo sostenible, servirá más adecuadamente para el desarrollo de la teoría explicada en este documento, ya que permite un crecimiento independiente de las dimensiones, sin que el capital natural suponga un límite. Su representación gráfica se muestra en la parte derecha de la Figura 1. Por tanto, en el desarrollo de la teoría, se referirá siempre a partir de este momento al paradigma débil del desarrollo sostenible.

La sociedad, que representa la equidad social, el estado del bienestar, la demanda de energía, los hábitos y las



Figura 1. Dimensiones del desarrollo sostenible según el paradigma de sostenibilidad fuerte/débil. Elaboración propia

necesidades sociales, el gobierno y la regulación, y en definitiva todas las acciones encaminadas a reducir las desigualdades entre los pueblos; la naturaleza, donde se engloban las emisiones contaminantes, los residuos, la degradación del medioambiente, la resiliencia⁴, la biodiversidad, los recursos naturales, y todo aquello que hará peligrar el equilibrio ambiental para las generaciones futuras; y por último la economía: la producción de materias primas, la prosperidad, el crecimiento, la eficiencia y optimización de procesos, la estabilidad, el desarrollo económico que permitirá satisfacer las necesidades de la población. Son las tres dimensiones del desarrollo sostenible. Las intersecciones que se representan en el diagrama de Venn definen las áreas que contienen variables en común a dos, o incluso a las tres dimensiones del desarrollo sostenible.

Desde un punto de vista economista, haciendo uso de los avances en la tecnología y aplicando el concepto de eficiencia mediante unas políticas de gobiernos e instituciones que favorezcan su implementación, se podría conseguir una disociación de las dimensiones del desarrollo sostenible. Es decir, se logra reducir el impacto negativo sobre el conjunto, de cualquier variación en una de ellas, lo que impulsa de forma exponencial las posibilidades del desarrollo humano.

Se puede ilustrar el problema de la disociación entre las tres dimensiones mediante un ejemplo: con carácter

general, al aumento de la producción industrial (economía), utilizando un mismo nivel de tecnología y recursos, implica un aumento de las emisiones contaminantes y residuos (naturaleza). En cambio, si incorporamos una nueva tecnología que permita producir más con menos recursos y además logramos reducir las emisiones contaminantes, así como los residuos, generados durante el proceso, o incluso esa tecnología permite la recuperación y reciclado de dichos residuos, lograremos una disociación entre las dos dimensiones: economía y naturaleza; es decir, el aumento de producción para satisfacer las necesidades sociales no producirá un aumento de la degradación medioambiental: estamos obteniendo un resultado sostenible.

En el ámbito edificatorio, por ejemplo, el consumo de electricidad por parte del usuario doméstico (sociedad) implica un consumo de energía primaria necesaria para generar esa electricidad (carbón, nuclear, renovables,...), lo que produce unas emisiones contaminantes (naturaleza) que serán mayores cuanto más electricidad se demande. Por tanto, si se aplican unas políticas que impulsen medidas de ahorro y eficiencia energética en la construcción de edificios, así como si se utilizan tecnologías modernas y respetuosas con el medio ambiente en los procesos de generación de electricidad, y por último, se logra, a través de políticas de concienciación ciudadana, un cambio de hábitos en el consumo de energía

por parte de los usuarios, lograremos finalmente reducir el consumo de energía y por tanto la disociación entre los ámbitos naturaleza y sociedad.

Se podrían definir también los diferentes modelos socio-políticos de la humanidad que explicaran su nivel de compromiso con el desarrollo sostenible en función del tamaño relativo de las tres dimensiones. Así, tendríamos un modelo puramente capitalista si la dimensión de la *Economía* adquiere más relevancia que el ámbito medioambiental o social, cuyo contrapunto vendría dado con una dimensión de la *Naturaleza* elevado, mediante un modelo en el cual un pensamiento ecologista trascendería a lo social y al crecimiento económico. Por último, podría explicarse también un modelo en el que la dimensión *Social* adquiriese mayor relevancia, y la competitividad considerada aisladamente dejara paso a la competitividad desde la cooperación.

Por tanto, se debe definir un modelo teniendo en cuenta las denominadas fuerzas transversales y todos aquellos subsistemas que de manera agregada impulsan el desarrollo sostenible. El problema es complejo para abordarlo de manera global, pero es determinante para poder definir posteriormente un modelo de indicadores que permita evaluar hacia la dirección en la que dirigirse y establecer las políticas adecuadas, análisis realizado en este trabajo.

Por último, es importante destacar los conceptos de sostenibilidad global

y local (Naredo, 1996) cuando se establece el ámbito de estudio, ya que los planteamientos de las fuerzas transversales serán diferentes tomando la escala global de la Tierra o considerando una escala de referencia más local para procesos, decisiones o subsistemas más reducidos y limitados en el espacio y en el tiempo. Este razonamiento será tenido en cuenta para definir las tres premisas de la sostenibilidad energética.

En resumen, las políticas institucionales y las regulaciones (Vera, 2005), así como la ciencia y la tecnología (Robles, 2011) las consideraremos como fuerzas transversales a las tres dimensiones del desarrollo sostenible, que deberán ayudar a crear una disociación entre ellas.

2. Las fuerzas transversales: tecnología y política

Las investigaciones en sostenibilidad de (Mayer, 2008) nos permiten afirmar que dado un sistema con determinadas dimensiones, como regla general, será sostenible si son sostenibles todas y cada una de las dimensiones del mismo.

El conocimiento científico y, en definitiva, su aplicación práctica a través de la tecnología y la innovación puede convertirse en una herramienta valiosa para la humanidad siendo ésta la que lo impulsa y lo gestiona. Pero las marcadas desigualdades sociales, económicas y culturales entre las distintas naciones convierte en complejo cualquier análisis aplicando la tecnología como concepto global (Fernandez-Baldor, 2012), por lo que deberemos hablar del término “tecnología apropiada”, popularizado por Schumacher⁵ cuando la referencia del estudio se establezca en según qué naciones.

La tecnología apropiada, por tanto, como fuerza transversal que puede ser fuente de disociación de las dimensiones del desarrollo sostenible, nos introduce en un nuevo paradigma. Un sistema tecnológico, es decir, un conjunto de tecnologías y sus implicaciones sociales, económicas y medioambientales, puede caracterizarse a través de su interacción con la sociedad, la naturaleza y la economía como el fundamento de toda prosperidad y evolución de la humanidad. Para entender la tecnología como una fuerza transversal a las tres dimensiones, debe obviarse el

debate sobre si condenar o ensalzar el desarrollo y utilización de la ciencia y la tecnología, ya que puede ser motivo de daño masivo al medioambiente, o de desarrollo y prosperidad para las civilizaciones pero, en sí misma, debemos entenderla como objetiva y neutral: no deben existir intereses o factores subjetivos en sus contenidos, y sus efectos y consecuencias dependen del uso que la humanidad haga de ella.

La trayectoria de un sistema sostenible, y su posición relativa con respecto a los límites multidimensionales a los que se somete según su escala temporal y espacial (Mayer, 2008), puede verse afectada también por las catástrofes como circunstancia inesperada y no previsible. Dado que la naturaleza imprevisible de las catástrofes cualquiera que sea su origen, no la podemos gestionar, descartaremos esa fuerza transversal en el análisis, aunque siempre estará presente el riesgo.

Es adecuado pensar entonces que el establecimiento de límites al desarrollo sostenible -y por tanto límites a sus tres dimensiones-, sólo pueden permanecer inmutables si la dimensión tiempo y espacio permanecieran invariables. Desde el momento que el sistema evoluciona en la dimensión espacio-tiempo es lógico pensar que se establecerán nuevos límites. Podría ser igualmente lógico que una gestión adecuada de la tecnología por parte de la humanidad, al igual que logra una disociación de las dimensiones del desarrollo sostenible, permita una sostenibilidad energética más allá de las limitaciones de la naturaleza. Esta reflexión daría una nueva visión del pensamiento establecido sobre la creación de límites al crecimiento, (Meadows, 1972).

Para finalizar, añadir que la política como fuerza transversal, que conlleva la gestión de la gobernanza de las naciones, la cooperación entre gobiernos para unificar las políticas energéticas y medioambientales, los acuerdos establecidos en las cumbres sobre energía y clima, los planes estratégicos sobre energía, las capacidades en obtener y analizar indicadores para la toma de decisiones, la adecuación de las inversiones en capacidad, educación, investigación o desarrollo; incidirá de manera contundente sobre las dimensiones social, económica y medioambiental del desarrollo sostenible (Vera,

2005), y es, por tanto, la gestión política y la gobernanza un aspecto destacable y muy relevante que debe trascender de las tres dimensiones, y asumir un protagonismo destacado en el modelo.

3. Subsistemas en el desarrollo sostenible. Contextualización de la sostenibilidad energética en las tres dimensiones del desarrollo sostenible.

Antes de abordar la conceptualización de la sostenibilidad energética, se debe realizar una reflexión entorno a la idoneidad de ésta como único subsistema para impulsar el desarrollo sostenible, ya que es necesario reconocer la existencia de otros subsistemas que son fuente de sostenibilidad parcial (Naredo, 1996) y que es necesario gestionar de forma eficiente para un desarrollo sostenible y, en definitiva, para una disociación completa de las tres dimensiones.

Es ampliamente reconocido que existen factores como el crecimiento poblacional y las migraciones demográficas, que inciden de manera notable en la demanda de alimentos y, por tanto, producen un importante impacto sobre los recursos hídricos, que a su vez tendrán una influencia notable sobre la producción y el crecimiento económico, la salud y la sociedad, lo que devendrá en definitiva a la afectación del medioambiente y promoverá con mayor o menor intensidad el cambio climático. En anteriores civilizaciones la gestión del agua ha sido un asunto prioritario para el desarrollo económico y social, asunto que actualmente también significa un importante problema en muchas regiones. Todo ello nos lleva a la obligación de realizar una gestión sostenible del agua y los recursos hídricos, elemento que adquiere una importante relevancia en el desarrollo sostenible, y que debe constituir un subsistema adicional en la contextualización de la sostenibilidad energética, aunque no será objeto de análisis en este trabajo.

Siguiendo la argumentación anterior, también los cambios demográficos, el éxodo rural, así como la urbanización y tercerización de las ciudades, además de la externalidades que se producen en el desarrollo territorial y urbanístico, constituyen un subsistema gestionable. Según proyecciones

de Naciones Unidas, el 54% de la población mundial actual reside en áreas urbanas y se prevé que para 2050 llegará al 66% (United Nations, 2014), por tanto, la gestión territorial y urbanística también debe concebirse como un subsistema del desarrollo sostenible.

Por último, destacar el medio atmosférico como el último subsistema contextualizado en el modelo, ya que incide de manera notable en el desarrollo humano, la economía y por tanto en la sociedad, y que la actividad de estos produce una contaminación que incide de manera notable sobre el medioambiente.

Por tanto, los cuatro subsistemas anteriores: la gestión de la energía, del territorio, la calidad del aire y la gestión de los recursos hídricos, crean, junto a las tres dimensiones del desarrollo sostenible, un modelo interrelacionado y en el que sólo será posible el desarrollo sostenible si todos y cada uno de los subsistemas son sostenibles (Figura 2).

Podría entenderse que estos subsistemas forman parte de la dimensión de la naturaleza, ya que el medio atmosférico, la energía, el agua y el territorio, se vinculan indiscutiblemente al medioambiente, pero la forma en que la sociedad y la economía se desarrollan estrechamente con estos subsistemas, así como interfiere la evolución de la humanidad en ellas, es necesario, a juicio del autor, desvincularlo por completo del capital natural y por ende, de los otras dimensiones. Además, la influencia tan notable de la política institucional, por un lado, y de la tecnología, por otro, sobre esos subsistemas hacen necesario estudiar separadamente esos cuatro subsistemas.

Es necesario añadir que las tres dimensiones están íntimamente relacionadas con el resto de subsistemas y que en algunas ocasiones habrá variables que se puedan considerar compartidas por aquellos.

Según los estudios de (Romero, 2014), basándose en la propuesta de capitales de (Neumayer, 2003), plantea que el modelo energético sostenible hacia el que enfocar los indicadores será aquel que cumpla tres condiciones fundamentales de sostenibilidad:

1. Un modelo que posibilite un nivel de bienestar no decreciente, incluyendo los cuatro tipos de capitales: económico, natural, social y humano.

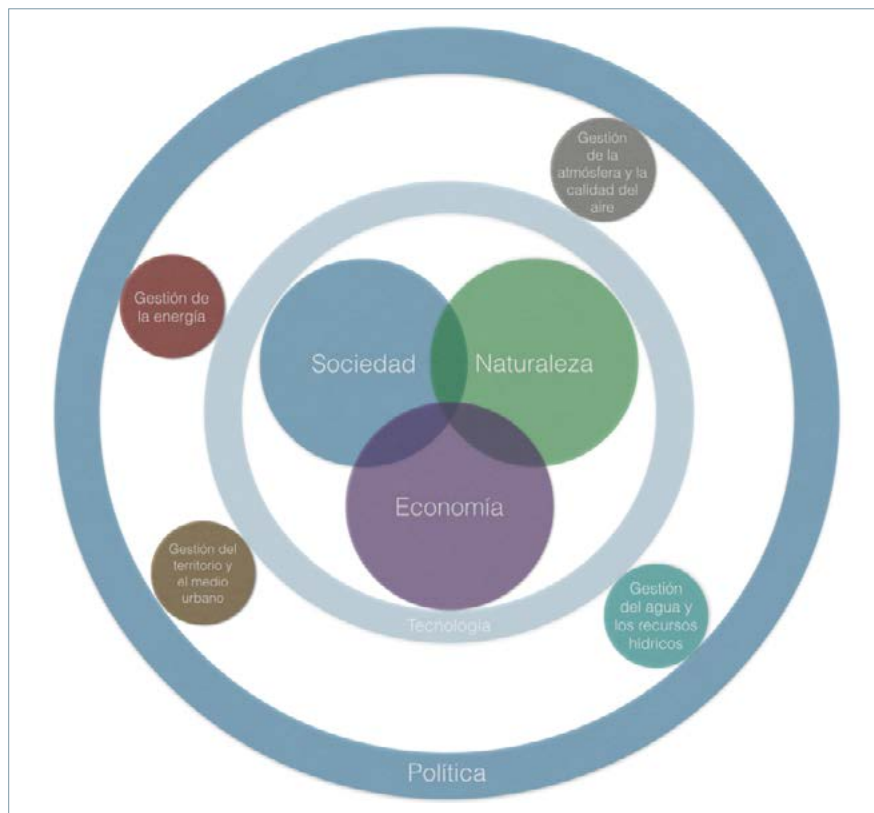


Figura 2. Contextualización de la sostenibilidad energética. Elaboración propia

2. Un modelo que garantice la equidad social entre generaciones.
3. Un modelo que en definitiva respete los límites resilientes del medio.

Pero entendiendo la sostenibilidad energética como un subsistema del desarrollo sostenible, debe localizarse en una capa diferente, adyacente a la capa donde aparecen fuerzas transversales que inciden en la disociación de las dimensiones que determinarán un desarrollo sostenible de la humanidad y que son: la evolución tecnológica y científica por un lado y las políticas regulatorias y gobernanza de las instituciones por otro, tal y como se muestra en la Figura 2.

La evolución tecnológica y científica podría entenderse dentro de la dimensión social del desarrollo sostenible, pero debe adquirir un emplazamiento diferenciado en el análisis como fuerza transversal, precisándose hacia la capa inmediatamente exterior del desarrollo sostenible, donde a partir de esa capa se explican también los cuatro subsistemas: la sostenibilidad energética, la sostenibilidad territorial y urbanística, la sostenibilidad de los recursos hídricos o la sostenibi-

lidad en la atmósfera. Para finalizar, se encuentran las políticas institucionales, regulaciones y gobernanza de las naciones, que deben conjugar todos los ámbitos mediante el fomento de la eficiencia energética, definiendo políticas impositivas y fiscales encaminadas a reducir la contaminación, estableciendo tratados y acuerdos internacionales de comercio de derechos de emisiones, todo ello, envolviendo a todos los subsistemas, que como segunda fuerza transversal incide en aquellos, permitiendo el éxito o fracaso del desarrollo sostenible.

4. Idoneidad de indicadores

Por ejemplo, se puede trasladar el razonamiento al marco del subsistema de la sostenibilidad hídrica y la gestión sostenible del agua, que al igual que se plantea en la sostenibilidad energética, la sostenibilidad hídrica está fuertemente vinculada a los tres pilares del desarrollo sostenible: la sociedad, la naturaleza y la economía. La demanda global de agua está muy influenciada por el crecimiento de la población, la alimentación y patrones de comportamiento de las diferentes culturas y, por supuesto por las polí-

ticas energéticas y sectores productivos de los países. Es muy interesante comparar la situación de países como España y Reino Unido estudiando los datos hidrográficos. Mientras que el primero posee, por ejemplo en su orografía, un relieve con una altitud media peninsular de 660 metros, completamente diferente a Reino Unido, en el que la mayor parte del territorio no supera los 200 metros de altitud. Esa diferente configuración permite en España obtener unos recursos hídricos a través de embalses (cerca de 56.000 hm³) muy superior a la de Reino Unido, cuando España tiene una pluviometría media de 636 mm/año⁶ siendo en Reino Unido de 1220 mm/año. Sin embargo, estas diferencias no se reflejan en el estrés hídrico que demuestran los dos países, que es similar [Recursos de agua renovables per capita (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - UNESCO, 2015)]. Por tanto, se puede concluir que un mismo indicador puede ser irrelevante según se realice el análisis en un país u otro.

Trasladando el razonamiento al subsistema energético, por ejemplo, una región como Europa Occidental, en la que existe una gran dependencia energética del exterior y una contribución del sector eléctrico importante en la energía final disponible, será necesario evaluar indicadores diferentes a los necesarios para la región centroafricana, cuya dependencia eléctrica es muy inferior. Somalia, país en el que la agricultura representa un 60,2% de su PIB tiene una coyuntura completamente diferente a Reino Unido cuya agricultura representa alrededor de un 1% del PIB⁷. Por tanto, como segunda conclusión ya no debemos hablar tanto de los indicadores de sostenibilidad energética, sino de grupos de indicadores de sostenibilidad que serán adecuados a diferentes coyunturas de los países. Desde la definición y análisis de esos indicadores, se podrán plantear las políticas más adecuadas para el desarrollo de la sostenibilidad energética en las diferentes naciones.

5. Premisas para un modelo de indicadores de sostenibilidad energética

Se debe partir de tres premisas fundamentales. La primera radica en la

utilización del paradigma de la sostenibilidad débil (Norton, 1992) como el único posible a través del cual desarrollar una conceptualización que tenga en cuenta la fuerza transversal de la tecnología, que permita ampliar los límites del capital natural y hacerlo ilimitado al tiempo que sustituible, sin restricción, aspecto éste último que, mediante el paradigma fuerte del desarrollo sostenible, no es posible razonarlo, ya que plantea un capital natural efímero y limitado. Por tanto, también la disociación entre las tres dimensiones del desarrollo sostenible sólo podría concebirse mediante el paradigma de la sostenibilidad débil en la conceptualización del desarrollo sostenible.

Respecto a la segunda premisa recordemos que la sostenibilidad energética subyace al desarrollo sostenible, es decir, la sostenibilidad energética se encuentra en una capa diferente al definido por las tres dimensiones del desarrollo sostenible: economía, medioambiente y equidad social. No existirá desarrollo sostenible sin una sostenibilidad energética que permita dicho desarrollo. Al mismo tiempo, para que exista desarrollo sostenible, deberá tenerse en consideración los otros subsistemas alrededor de las tres dimensiones.

La tercera premisa consiste en la idoneidad de los indicadores a las diferentes coyunturas económicas, energéticas, territoriales y sociales de los diferentes países, es decir, no todos los indicadores serán los más idóneos para realizar un análisis de la situación energética en las distintas naciones teniendo en cuenta el concepto de sostenibilidad local (Naredo, 1996); se pueden llegar a obtener conclusiones y definir políticas que no serán replicables a otros países.

6. Modelos de indicadores

Existen diferentes modelos planteados por diferentes organizaciones para la monitorización de datos a nivel global que subyacen a la definición de sostenibilidad energética. Muchos de ellos son complementarios y sirven de gran ayuda para la toma de decisiones en materia de energía de gobiernos, empresas y otros agentes. Seguidamente se analizan aquellos indicadores que contemplan las variables más decisivas en materia energética de los estados.

6.1. El modelo WEC

El Consejo Mundial de la Energía, ha desarrollado el concepto de “Trilema energético” basándose en tres dimensiones: seguridad energética, equidad energética y sostenibilidad ambiental, que aglutinan 22 series de indicadores WEC⁸ recopilados a nivel mundial para obtener un Índice de Sostenibilidad Energética (World Energy Council, 2014) que informa del grado de cumplimiento de los países respecto a esas tres dimensiones.

Es interesante destacar la estructura de indicadores del WEC, partiendo de esas tres grandes variables como definición del concepto de sostenibilidad energética que realiza el Consejo Mundial de la Energía:

- Seguridad de suministro como indicador de la gestión efectiva del suministro de la energía primaria, la fiabilidad de la infraestructura energética, y la capacidad de los agentes participantes en el sector para garantizar que se satisfaga la demanda de energía actual y la futura.
- Equidad energética: el grado de garantía de accesibilidad y asequibilidad del suministro de energía a toda la población del país en concreto.
- Sostenibilidad ambiental: hasta qué grado de éxito son eficientes el suministro y demanda de energía, así como el grado de desarrollo del suministro de energía de fuentes renovables y otras fuentes con bajo nivel de emisiones contaminantes.

Respecto a esta familia de indicadores WEC, cabe resaltar que existe una agregación por tipo de indicador (Figura 3) que agrupa, por un lado, el 25% del índice de sostenibilidad energética (denominado comportamiento contextualizado del país) relativo a tres variables. Dos son dimensiones del desarrollo sostenible (económico y social) y una tercera: la fuerza transversal de la política institucional, obteniendo un 8,3% cada uno de ellos como contribución al Índice de Sostenibilidad Energética total del país. Existe otra agregación de indicadores (denominado comportamiento energético del país) que participa con un 75% de contribución en el total en el índice y, en este caso, se refiere a los indicadores seguridad de suministro (25%), equidad energética (25%) y por último, la tercera dimensión del

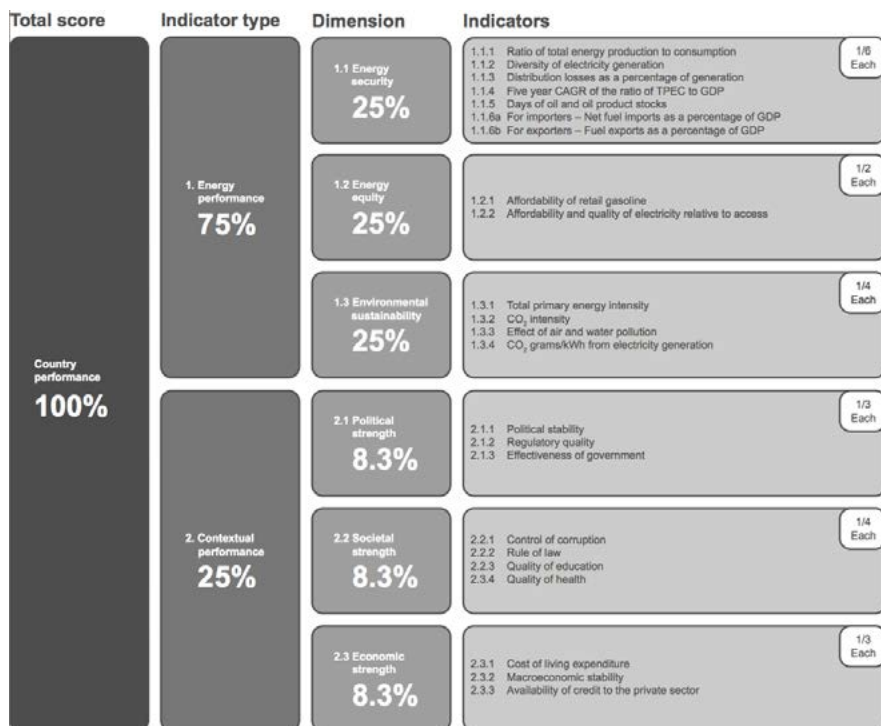


Figura 3. Indicadores de referencia del Trilema Index. Fuente: <http://www.worldenergy.org>

Economic groups (GDP per capita)	GDP per capita (PPP, US\$)	Industrial sector (% of total GDP)	TPEC/TPEC'	Population with access to electricity (%)	Energy affordability (US\$ per kWh) ²	Energy intensity (koe per US\$, PPP)	Emission intensity (kCO ₂ per US\$, PPP)	CO ₂ emissions per capita
Group I (33,501+)	45,849	32.2	1.10	95.7	0.22	0.16	0.29	11.53
Group II (14,301–33,500)	22,417	30.3	1.04	95.9	0.18	0.17	0.39	7.83
Group III (6,001–14,300)	9,914	31.4	1.86	91.6	0.09	0.18	0.40	4.16
Group IV (0–6,000)	2,911	27.4	3.05	57.5	–	0.28	0.32	0.99
Global average³	17,929	30.1	1.86	83.6	0.18	0.20	0.35	6.30

¹ Ratio of total primary energy production to total primary energy consumption, showing the extent to which a country imports or exports energy
² “–” indicates lack of available data for this indicator for too many countries in this region
³ Average of all 129 countries included in the Index

Figura 4. Comparación de la métrica entre grupos según clasificación WEC. Fuente: (World Energy Council, 2014)

desarrollo sostenible: la sostenibilidad ambiental (25%).

Profundizando en el sistema de indicadores WEC, es destacable la posibilidad de comparar resultados por agrupaciones de países con similares características regionales, ya que en

términos absolutos, el índice de sostenibilidad energética resulta más significativo comparando países con similares recursos, infraestructuras, objetivos y políticas energéticas (Figura 9). Por tanto, se está teniendo en consideración la tercera premisa de

idoneidad de indicadores.

Los indicadores utilizados para la discriminación grupal que utiliza el sistema de indicadores WEC, son los siguientes:

- PIB (US\$)
- Sector Industrial (% del PIB)
- Producción Total de Energía Primaria/Consumo Total de Energía Primaria
- Capacidad de acceso de la población a la electricidad (%)
- Energía asequible (US\$/kWh)
- Intensidad energética de la economía (ktep/US\$)
- Intensidad de emisiones (kCO₂/US\$)
- Emisiones CO₂ per cápita

Respecto a la consideración de los subsistemas en el grupo de indicadores (segunda premisa) es muy poco reseñable el peso que se otorga a indicadores del subsistema hídrico o de la atmósfera, y mucho menos al referido a territorio. Los indicadores se centran prácticamente en el aspecto de energía. Lo cual plantea escaso el modelo, ya que únicamente aparece el indicador de emisiones de CO₂ y de polución en aire y agua conjuntamente. Para finalizar, la consideración de la fuerza transversal de la tecnología es inexistente, dejando sí indicadores de gobernanza en un 8,3%, (muy ilustrativo el indicador “control de la corrupción”).

Es destacable en el modelo la ordenación que realiza de indicadores. Por un lado, establece una serie de indicadores para las tres dimensiones (naturaleza, social y económica) en un 25% y, por otro lado, el restante peso del 75% del modelo lo enfoca al subsistema de la sostenibilidad energética.

6.2. El modelo EISD

La Agencia Internacional de Energía Atómica⁹ desarrolló el modelo EISD -Energy Indicators for Sustainable Development (IAEA, 2005) en cooperación con otras organizaciones internacionales, desarrollando un total de 30 indicadores, clasificados alrededor de la conceptualización de las tres dimensiones del desarrollo sostenible:

- La dimensión económica (16 indicadores): midiendo los patrones de uso, producción y suministro de energía, eficiencia de las transformaciones e intensidad energética, precios de energía, tasas e impues-

Social			
Theme	Sub-theme	Energy Indicator	Components
Equity	Accessibility	SOC1 Share of households (or population) without electricity or commercial energy, or heavily dependent on non-commercial energy	<ul style="list-style-type: none"> – Households (or population) without electricity or commercial energy, or heavily dependent on non-commercial energy – Total number of households or population
	Affordability	SOC2 Share of household income spent on fuel and electricity	<ul style="list-style-type: none"> – Household income spent on fuel and electricity – Household income (total and poorest 20% of population)
	Disparities	SOC3 Household energy use for each income group and corresponding fuel mix	<ul style="list-style-type: none"> – Energy use per household for each income group (quintiles) – Household income for each income group (quintiles) – Corresponding fuel mix for each income group (quintiles)
Health	Safety	SOC4 Accident fatalities per energy produced by fuel chain	<ul style="list-style-type: none"> – Annual fatalities by fuel chain – Annual energy produced

Figura 5. Indicadores de la dimensión SOCIAL en el modelo EISD. Fuente: (IAEA, 2005)

- tos, seguridad de suministro y diversidad del mix.
- La dimensión social (4 indicadores): midiendo el impacto de la energía en el bienestar social, en términos de empleo, pobreza, educación, cultura, transición demográfica, contaminación y salud ambiental. Describe también los problemas relacionados con la accesibilidad, la asequibilidad y la disparidad entre oferta y demanda de energía. Esta dimensión pone de manifiesto la dificultad de recopilar datos adecuados en países en desarrollo.
 - La dimensión medioambiental (10 indicadores): midiendo el impacto medioambiental de la producción, distribución y uso de la energía por parte de los consumidores y usuarios, sean industrias o ciudades, tanto a nivel global, nacional o regional.

El modelo EISD justifica la no inclusión de indicadores de la fuerza transversal de la gobernanza, debido a que son los más complejos de definir por dos razones principales. En primer lugar, son difíciles de cuantificar por su propia naturaleza, ya que muchos de ellos requieren previsiones a futuro ba-

sándose en proyecciones de producción de energía. En segundo lugar, las variables medidas mediante indicadores institucionales tienden a ser respuestas estructurales o políticas a las necesidades de desarrollo sostenible. Es decir, que los indicadores institucionales no sólo deben medir el grado de incidencia de las políticas energéticas de un determinado estado, la existencia y efectividad de los planes energéticos nacionales, la capacidad de análisis y recopilación de datos estadísticos, y la adecuación y efectividad de nuevas inversiones en capacidad, educación o investigación y desarrollo, sino que también deben servir para monitorizar la efectividad de las políticas regulatorias o legislaciones de los estados.

Es interesante analizar las 7 áreas y 19 subáreas en las que se sustenta la clasificación EIDS. Además, algunos indicadores pueden aparecer en más de una dimensión, lo que demuestra la gran interrelación existente entre las variables, incluso dentro de un mismo subsistema como el de la sostenibilidad energética (Figura 5, Figura 6 y Figura 7).

Por otro lado, el modelo EISD utiliza una serie de estadísticas auxiliares para medir, por ejemplo, la demografía,

la salud, el desarrollo económico, la infraestructura de transporte, el nivel de urbanización, etc. Algunas de estas variables son las siguientes: población, PIB per cápita, contribución de los sectores productivos en el PIB, distancia recorrida per cápita, actividad de transporte de mercancías, superficie de vivienda per cápita, valor añadido bruto del sector manufacturas y desigualdades en salarios. Estas variables se utilizan como componentes de la formulación de algunos de los grupos de indicadores EISD, o incluso como complemento para su análisis e interpretación. Por tanto claramente el modelo también considera, al igual que el anterior modelo WEC, la importancia de la tercera premisa sobre idoneidad de indicadores. Por ello, es concluyente que cada país tendrá sus circunstancias económicas y geográficas, su propia configuración de recursos energéticos y su propia experiencia. Como en cualquier implementación de un modelo de análisis, el proceso de implementación de los indicadores EISD dependerá de las políticas energéticas, la capacidad estadística, la disponibilidad y calidad de datos,...etc.

Respecto a la segunda premisa sobre la consideración de los otros subsistemas en los indicadores, sí que el modelo EISD deja un gran peso específico a indicadores medioambientales referidos al territorio, protección atmosférica e hídrica, por lo que se debe destacar este aspecto. No siendo así en el aspecto de las fuerzas transversales, de las que no aparecen ningún indicador, tanto de gobernanza como de tecnología.

6.3. El modelo IEA

La IEA en colaboración con la OCDE publica el Energy Development Index - EDI (OECD/IEA, 2012), un indicador multi-dimensional que ofrece información sobre el desarrollo energético de cada país, distinguiendo por un lado al ámbito doméstico y por otro referido a la energía consumida por el sector público y los sectores productivos. Además se focaliza en dos grandes áreas: el acceso a la electricidad en general y la utilización de tecnologías limpias (Figura 8). En este modelo, por primera vez, se abandona la estructura tradicional de datos basada en las tres dimensiones del desarrollo sostenible, para utilizar indicadores mucho más enfocados al ámbito energético y con

Environmental				
Theme	Sub-theme	Energy Indicator		Components
Atmosphere	Climate Change	ENV1	GHG emissions from energy production and use per capita and per unit of GDP	<ul style="list-style-type: none"> – GHG emissions from energy production and use – Population and GDP
	Air Quality	ENV2	Ambient concentrations of air pollutants in urban areas	<ul style="list-style-type: none"> – Concentrations of pollutants in air
		ENV3	Air pollutant emissions from energy systems	<ul style="list-style-type: none"> – Air pollutant emissions
Water	Water Quality	ENV4	Contaminant discharges in liquid effluents from energy systems including oil discharges	<ul style="list-style-type: none"> – Contaminant discharges in liquid effluents
Land	Soil Quality	ENV5	Soil area where acidification exceeds critical load	<ul style="list-style-type: none"> – Affected soil area – Critical load
	Forest	ENV6	Rate of deforestation attributed to energy use	<ul style="list-style-type: none"> – Forest area at two different times – Biomass utilization
	Solid Waste Generation and Management		ENV7	Ratio of solid waste generation to units of energy produced
ENV8			Ratio of solid waste properly disposed of to total generated solid waste	<ul style="list-style-type: none"> – Amount of solid waste properly disposed of – Total amount of solid waste
ENV9			Ratio of solid radioactive waste to units of energy produced	<ul style="list-style-type: none"> – Amount of radioactive waste (cumulative for a selected period of time) – Energy produced
		ENV10	Ratio of solid radioactive waste awaiting disposal to total generated solid radioactive waste	<ul style="list-style-type: none"> – Amount of radioactive waste awaiting disposal – Total volume of radioactive waste

Figura 6. Indicadores de la dimensión MEDIOAMBIENTAL en el modelo EISD. Fuente: (IAEA, 2005)

otra ordenación.

Nos encontramos ante una metodología que quiere expresar, en términos cuantitativos, el progreso de un país

hacia un modelo basado en un acceso moderno a la energía mediante la utilización tecnologías limpias que ayude a mejorar el papel de la energía en el

desarrollo de la humanidad. Por tanto podríamos destacar en un primer estadio de análisis, que el modelo se centra exclusivamente en el subsistema de la energía, sin tener en cuenta los otros subsistemas.

Efectivamente, tal y como se muestra en la Figura 9, la estructura de indicadores sobre consumo de energía se ordena por sectores: residencial, servicios, industria, transporte y otros. Éste último es donde aparecen de forma testimonial conceptos sobre los subsistemas territorial e hídrico.

La IEA desarrolla un modelo de indicadores de eficiencia energética con un nivel muy elevado de agregación que se basa en la relación de la energía consumida respecto al PIB o respecto de la población, observando los dos ratios simultáneamente. Más concretamente utiliza el indicador denominado Intensidad Energética de la Economía, que adquiere un importante peso específico en el modelo. También toma un importante papel en el modelo el concepto de “acceso a la energía eléctrica”, que discrimina según patrones demográficos de población urbana y rural.

Respecto a las fuerzas transversales, el modelo no contempla indicadores institucionales o de gobernanza en el modelo, aunque sí indirectamente de tecnologías, ya que ratios como el de la Intensidad Energética en la Economía, intrínsecamente contiene el papel de la misma como facilitador y mejora del ratio.

Debido a las diferencias en las definiciones y metodología de adquisición de datos de diferentes países, el modelo toma en cuenta que la calidad de los datos puede variar de un país a otro. Por tanto, no toma en cuenta la tercera premisa en cuanto a la idoneidad de indicadores, sino a corregir las desviaciones propias de la interpretación debido a que provienen de una adquisición irregular. Para ello proponen un ajuste de esos datos a través de la correlación de datos y encuestas anteriores.

7. Conclusiones

Un modelo de indicadores que tenga en consideración el desarrollo sostenible como máxima, al tiempo que permita ser una herramienta eficaz de análisis y toma de decisión para los gobiernos debe estructurarse, por un lado, en los cuatro subsistemas del desarrollo sostenible: la gestión de la energía, el te-

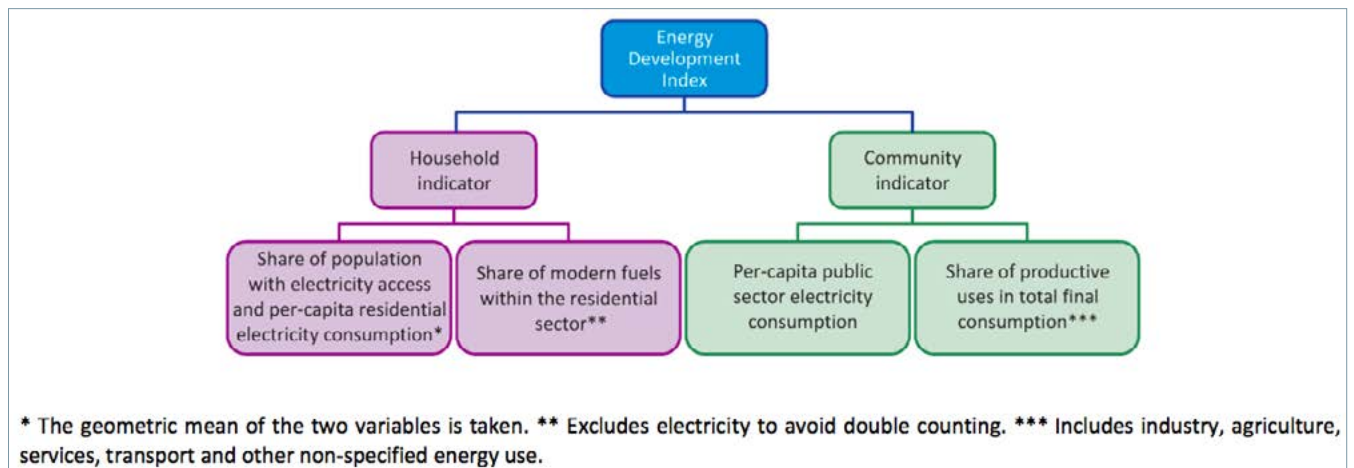


Figura 7. Componentes del Índice de Desarrollo Energético (IDE). Fuente: (OECD/IEA, 2012)

territorio, la calidad del aire y la gestión de los recursos hídricos y, por otro lado, basarse en las tres dimensiones del desarrollo sostenible (naturaleza, economía y sociedad) creando una estructura de información completa, recabando datos de esos ámbitos y configurando su interrelación.

No obstante, esa calidad y disponibilidad de datos, hacen un factor común denominador muy relevante en la interpretación de los mismos de un país a otro. Un indicador puede ser irrelevante en dos estados diferentes, debido fundamentalmente a sus características coyunturales: política, cultura, población, estructura económica, derechos sociales, acceso a la tecnología, características geográficas, etc. Por tanto, el modelo deberá reportar los resultados según familias de indicadores adecuados a la coyuntura del país, para poder establecer una estructura de toma de decisión correcta.

En general, un modelo robusto debe tener en cuenta las tres premisas de la sostenibilidad energética. Primero, asumiendo el paradigma de la sostenibilidad débil como el único posible a través del cual desarrollar una conceptualización que tenga en cuenta la fuerza transversal de la tecnología (y la gobernanza), que permita ampliar los límites del capital natural y hacerlo ilimitado al tiempo que sustituible. Segundo, un modelo que considere los cuatro subsistemas: energía, territorio, atmósfera y agua; y tercero respecto a la idoneidad de los indicadores a las diferentes coyunturas económicas, energéticas, territoriales y sociales de los países, ya que se pueden llegar a obte-

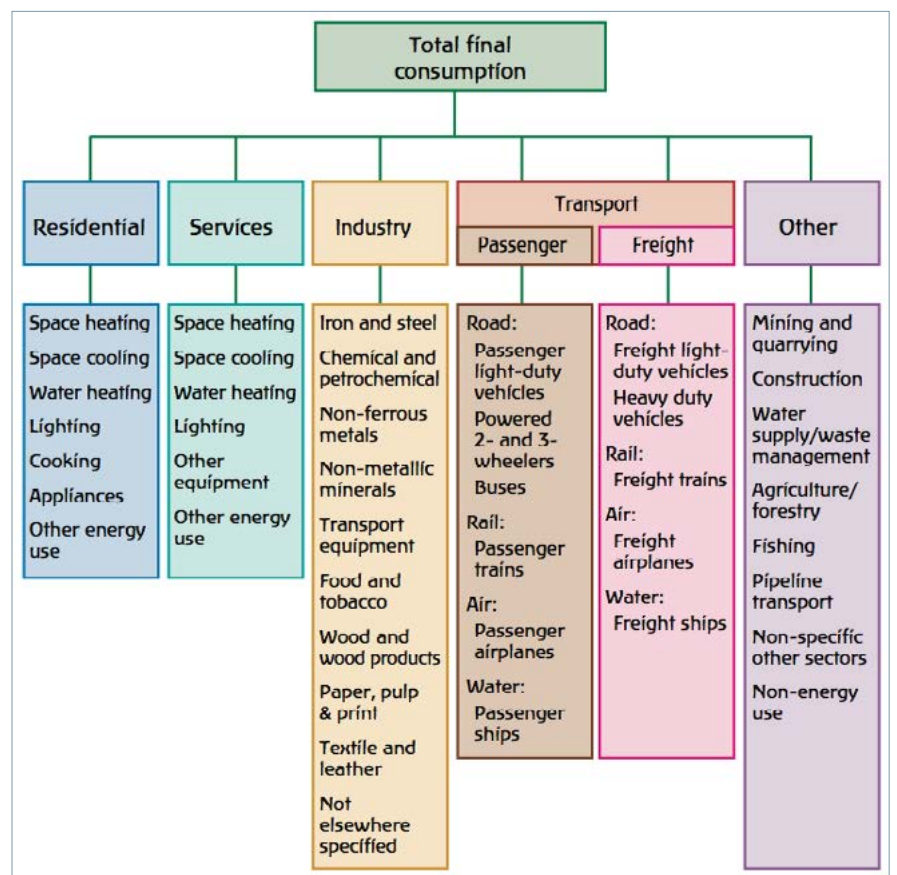


Figura 8. Nivel de desagregación de sectores y subsectores. Fuente: (OECD/IEA, 2012)

ner conclusiones y definir políticas que no serán replicables a países diferentes.

En el análisis de los modelos de referencia analizados, se establece una conclusión común: en general, las tres metodologías tienen en consideración la importancia de la tercera premisa sobre idoneidad de indicadores, y en particular la metodología AIE. No lo

explica con el concepto de idoneidad, sino que intenta establecer correlación y contraste de variables a través de encuestas o datos anteriores; pero en sí, no establece una desagregación en familias de indicadores adecuados, ya que se trata de una metodología, no ya un modelo de indicadores propiamente dicho.

Por otro lado, en relación a la se-

gunda premisa sobre la consideración de los otros subsistemas en los indicadores, sólo el modelo EISD trata con decisión indicadores que se refieren a los cuatro subsistemas, pero desde la dimensión de la naturaleza.

Es relevante destacar que ninguno de los modelos establece indicadores referidos a las fuerzas transversales: gobernanza y tecnología, a las que únicamente el modelo EISD, y de forma muy liviana, define algún indicador sobre gobernanza. Las razones fundamentales son: en primer lugar, resultan difíciles de cuantificar por su propia naturaleza, ya que muchos de ellos requieren proyecciones a futuro basándose en proyecciones de producción de energía; en segundo lugar, las variables medidas mediante indicadores institucionales tienden a ser respuestas estructurales o políticas a las necesidades de desarrollo. Los indicadores institucionales por tanto, no sólo deben medir el grado de incidencia de las políticas energéticas de un determinado estado, sino también la existencia y efectividad de los planes energéticos nacionales, la capacidad de análisis y recopilación de datos estadísticos, la adecuación y efectividad de nuevas inversiones en capacidad, educación, hábitos sociales o investigación y desarrollo, sino que también deben servir para monitorizar la efectividad de las políticas regulatorias o legislaciones de los estados.

8. Agradecimientos

Esta investigación ha sido apoyada a través del proyecto "Subvenciones para Grupos de Investigación Consolidables AICO/2018/102", de la Consellería de Educación, Investigación, Cultura y Deporte de la GVA (Generalitat Valenciana). Dirección general de Universidad, Investigación y Ciencia.

Notas

- 1 Gro Harlem Brundtland, Primera Ministra de Noruega durante los años 1981, 1986-1989 y 1990-1996 perteneciente al Partido Laborista y que presidió la Comisión que elaboró el informe para la ONU en 1987 denominado "Our Common Future" – Nuestro Futuro Común.
- 2 Los diagramas de Venn adquieren el nombre de su inventor, John Venn (1834-1923), matemático y filósofo británico que desarrolló mediante representación gráfica las operaciones de teoría de conjuntos.
- 3 Eric Neumayer es Profesor de Departamento de Geografía y Medioambiente en London School of Economics and Political Science (LSE), y ha sido asistente académico en el Center for Law and Economics at the University of Saarbrücken,

- Germany. En su libro "Weak versus strong sustainability: exploring the limits of two opposing paradigms" (Neumayer, 2003) establece en la sostenibilidad dos paradigmas o corrientes de pensamiento: "weak sustainability" o sostenibilidad débil, en la que cualquier capital puede ser sustituido por otro; y "strong sustainability" o sostenibilidad fuerte, en la que el capital natural no puede sustituirse por ningún otro tipo de capital.
- 4 Resiliencia es un concepto de la ingeniería mecánica y de materiales cuyo significado es la capacidad de un material de absorber y almacenar energía, que aplicándolo a la ecología adquiere una definición que consiste en la capacidad de los ecosistemas en absorber perturbaciones o distorsiones sin alterar significativamente su estructura y funcionalidad, pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación o distorsión ha cesado. Una de las instituciones más relevantes en la investigación del concepto de resiliencia y sus implicaciones medioambientales es el Stockholm Resilience Center.
 - 5 Ernst Friedrich Schumacher fue un destacado economista e intelectual que popularizó el concepto de la tecnología apropiada a través de su libro "Small is beautiful: economics as if people mattered" (Schumacher, 1973)
 - 6 Datos obtenidos a través del sistema de información global sobre el agua AQUASTAT <http://www.fao.org>
 - 7 Datos obtenidos de "The World Factbook" es una publicación anual de la Agencia Central de Inteligencia (Central Intelligence Agency – CIA) que recopila, integra y pone a disposición del público, investigadores y científicos desde 1975, información evaluada, analizada e interpretada por los servicios de inteligencia de los Estados Unidos. Además da soporte de inteligencia al Gobierno de ese país.
 - 8 El Consejo Mundial de la Energía (World Energy Council - WEC) es una Institución acreditada por la ONU y fundada en 1923 que representa a más de 3000 organizaciones en casi 100 países. Publica estudios y prospecciones sobre energía para orientar en la toma de decisiones estratégicas de gobiernos, empresarios y otros agentes. Mas información en <http://www.worldenergy.org>
 - 9 La agencia internacional de Energía Atómica (International Atomic Energy Agency – IAEA) inició en 1999 en cooperación con el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (United Nations Department of Economic and Social Affairs – UN.DESA), la Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency – IEA), la oficina de estadística de la Unión Europea (Eurostat) y la Agencia Europea de Medioambiente (European Environment Agency – EEA) completaron con éxito el proyecto EISD que se concibió con un triple objetivo: definir un conjunto de indicadores aplicables y comparables a nivel global, auxiliar a los países para promover la sostenibilidad energética y la darles la capacidad de análisis estadístico, y por último para suplementar el trabajo que sobre los indicadores generales había realizado la novena sesión de la Comisión de Desarrollo Sostenible (Commission on Sustainable Development - CSD9) de Naciones Unidas en 2001, denominada entonces 'Indicators for Sustainable Energy Development' – ISED

Bibliografía

- [1] Ciegis, R. (2009). The concept of sustainable development and its use for sustainability scenarios. *Engineering Economics*, 28-37.
- [2] Fernandez-Baldor, A. (2012). Technologies for Freedom: a technological model to a human and sustainable development. *Desafíos de los Estudios del Desarrollo: Actas del I Congreso*

- Internacional de Estudios del Desarrollo.*
- [3] Ghosh, N. (2008). The road from economic growth to sustainable development: How was it traversed?
 - [4] IAEA. (2005). *Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. IAEA-UNDESA-IEA-EUROSTAT-EEA. Vienna: IAEA.
 - [5] IUCN - The World Conservation Union. (2004). *The IUCN Programme 2005-2008: Many Voices, One Earth*. The World Conservation Congress, Bangkok.
 - [6] Lior, N. (2010). Sustainable energy development: The present (2009) situation and possible paths to the future. *Energy*, 3976-3994.
 - [7] Mayer, A. L. (2008). Strengths and weakness of common sustainability indices for multidimensional systems. *Environment International* (34), 277-291.
 - [8] Meadows, D. (1972). *The limits to growth. A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York: Universe books.
 - [9] Munasinghe, M. (1992). Environmental economics and sustainable development. *UN Earth Summit*.
 - [10] Naredo, J. M. (1996). Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible. En T. y. Ministerio de Obras Públicas, La construcción de la ciudad sostenible. Madrid.
 - [11] Neumayer, E. (2003). *Weak versus strong sustainability* (última edición en 2013 ed.). Northampton, Massachusetts, USA: Edward Elgar Publishing, Inc.
 - [12] Norton, B. G. (1992). Sustainability, Human Welfare and Ecosystem Health. (T. W. Press, Ed.) *Environmental Values*, 97-111.
 - [13] OECD/IEA. (2012). *World Energy Outlook - Methodology for Energy Access Analysis*. OECD/IEA.
 - [14] Pezzey, J. (1997). Sustainability constraints versus "optimality" versus intertemporal concern, and axioms versus data. *Land Economics*, 73 (4), 448-466.
 - [15] Robles, R. (2011). A review on existing sustainable indices on efficient energy. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality ICREPQ'11*, (pág. 6). Las Palmas de Gran Canaria.
 - [16] Romero, J. & (julio-agosto de 2014). Hacia una conceptualización operativa de la sostenibilidad energética. *Anales de mecánica y electricidad*, 4-9.
 - [17] The World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. Brundtland, G.H.
 - [18] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - UNESCO. (2015). *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a sustainable world*. Report.
 - [19] United Nations. (2014). *World Urbanization Prospects*. UN, Department of Economic and Social Affairs. New York: UN.
 - [20] Vera, I. (2005). Indicators for sustainable energy development: an initiative by the International Atomic Energy Agency. *Natural Resources Forum*, 274-283.
 - [21] World Energy Council. (2014). *Energy Trilemma Index. Benchmarking the sustainability of national energy systems*. World Energy Council. London: World Energy Council.