

# La transición energética y la Ciencia de la Sostenibilidad

\*A. Vilches,<sup>1</sup> y [D. Gil Pérez,<sup>1</sup>](#)

<sup>1</sup> Departament de Didàctica de les Ciències, Universitat de València, 46022 València, España

[\\*Amparo.Vilches@uv.es](mailto:Amparo.Vilches@uv.es)

Vilches, A. & Gil-Pérez, D. (2013). La transición energética y la Ciencia de la Sostenibilidad. In Martínez-Duart, J.M. & Gómez-Calvet, R. Eds., *Current Trends in Energy and Sustainability*. Valencia: Spanish Royal Physical Society, 171-186. ISBN: 978-84-695-8186-5

**Abstract:** The first aim of this paper is to show the necessity *and possibility* of an energy transition capable of ending the use of nonrenewable and polluting resources, at the service of particular interests, and replacing them with clean, efficient and sustainable resources, accessible to all human beings. In order to construct a sustainable future through the accomplishment of this and other necessary transitions *Sustainability Science* has emerged – a new scientific domain for a new period of human history, the Anthropocene, characterized by the significant impact human activities are having on the Earth's ecosystems. We present this new science that has already had an extraordinary development in answering an ensemble of key questions relating to nature-science interactions, the many and closely connected problems humanity is currently facing, and the interdisciplinary and transdisciplinary global treatment required to make the transition to sustainability possible.

**Resumen** Un primer objetivo de este trabajo es justificar la necesidad y *posibilidad* de una transición energética que permita acabar con el uso de recursos no renovables, contaminantes y al servicio de intereses particulares, para pasar a disponer de recursos limpios y renovables para todos los seres humanos. Para abordar esta problemática y alcanzar los objetivos propuestos se presentará la *Ciencia de la Sostenibilidad*: una nueva ciencia para un nuevo periodo de la historia de la humanidad, el Antropoceno, en el que los grandes cambios que experimenta el planeta son debidos principalmente a la acción de los seres humanos. Una nueva ciencia que está experimentando ya un impresionante desarrollo, respondiendo a un conjunto de preguntas clave en torno a las interacciones naturaleza-sociedad, los problemas a los que se enfrenta hoy la humanidad, sus vinculaciones, y las medidas que se precisan para hacer posible la construcción de un futuro sostenible.

## Introducción

¿Por qué se habla hoy, desde las más diversas instancias, de la urgente necesidad de una *transición* -e incluso de una *revolución*- energética? La proclamación por Naciones Unidas de 2012 como *Año Internacional de la Energía Sostenible para Todos* responde a esta necesidad, fundamentada por una pluralidad de estudios convergentes como los del Advisory Group on Energy and Climate Change del propio Secretario General de Naciones Unidas (AGECC, 2010), los del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2011), o los

promovidos por organizaciones no gubernamentales como WWF (2011) y Greenpeace (2012).

La necesidad y urgencia de esta transición energética se explica en las motivaciones de este Año Internacional: en la Resolución 65/151, aprobada por Naciones Unidas en 2010, la Asamblea General se declara “Preocupada porque, en los países en desarrollo, más de tres mil millones de personas dependen de la biomasa tradicional para cocinar y como fuente de calefacción, porque mil quinientos millones de personas carecen de electricidad y porque millones de pobres no pueden pagar estos servicios energéticos modernos, incluso si están disponibles”.

Cabe destacar que esta gravísima situación, que afecta muy negativamente al nivel de vida de miles de millones de personas, no ha llevado a proclamar un “Año Internacional de la Energía para Todos”, sino de la Energía *Sostenible* para Todos, es decir, de recursos energéticos renovables, no contaminantes y accesibles a la totalidad de los seres humanos. No se ha cedido, pues, a la urgencia del problema con un “todo vale”, con un simple llamamiento genérico a incrementar el acceso a *cualquier* recurso energético. Para empezar, el Año Internacional no constituye una iniciativa puntual sino que se ha completado con la aprobación por la Asamblea General de Naciones Unidas de una *Década de la Energía Sostenible para Todos, 2014-2024* (<http://www.sustainableenergyforall.org/>) que ha de permitir la puesta en marcha de las medidas concebidas, así como su seguimiento y evaluación permanentes para las reorientaciones que se precise realizar. Adoptando esta resolución de forma unánime, la Asamblea General ha reafirmado su determinación de convertir lo antes posible en realidad la energía sostenible para todos. De hecho, la Secretaría-General ha designado ya al Presidente de UN-Energy y Director General de UNIDO (United Nations Industrial Development Organization) como “Special Representative for Sustainable Energy for All and Chief Executive of the effort”.

Merece destacarse, además, que la institución de esta década ha sido concebida como parte de una estrategia global de construcción de un futuro sostenible, subrayando “la importancia de las cuestiones energéticas para el desarrollo sostenible y para la elaboración de la agenda de desarrollo post-2015” (año en que termina el periodo establecido para la consecución de los Objetivos del Milenio y se da paso a unos nuevos y más ambiciosos *Objetivos del Desarrollo Sostenible*).

Debemos saludar, pues, que Naciones Unidas no haya incurrido en las tan habituales respuestas cortoplacistas –que solo “resuelven” momentáneamente un problema a costa, a menudo, de crear otros y de agravar la situación- y que haya realizado un planteamiento más global y fundamentado, que se apoya en estudios científicos y en las reivindicaciones de movimientos ciudadanos que anteponen las necesidades generales a intereses particulares a corto plazo. Es un planteamiento que toma en consideración la estrecha vinculación de los problemas socioambientales como dimensiones de una misma problemática y que solo pueden abordarse de manera efectiva si se tiene en cuenta dicha vinculación (Vilches y Gil,

2003 y 2012; Diamond, 2006). Nos referiremos seguidamente a esta problemática global causante de una auténtica *emergencia planetaria* (Bybee, 1991) y a los estudios científicos que analizan sus causas y diseñan estrategias para su solución.

### **Una insostenible situación de emergencia planetaria**

Análisis científicos concordantes vienen caracterizando la situación actual del mundo por su *insostenibilidad*, es decir, por acercarse peligrosamente e incluso superar los límites del planeta (Worldwatch Institute, 1982-2013; Bybee, 1991; Vilches y Gil, 2003; Diamond, 2006; Duarte, 2006):

Es *insostenible* el actual ritmo de utilización de todo tipo de recursos esenciales, desde los energéticos a los bancos de pesca, los bosques, las reservas de agua dulce y el mismo suelo cultivable. Un ritmo muy superior al de su regeneración, cuando son renovables, o al de su sustitución por otros que sí lo sean.

Es *insostenible* el ritmo de producción de residuos contaminantes, muy superior al de la capacidad del planeta para digerirlos: una contaminación pluriforme y *sin fronteras* que envenena suelos, ríos, mares y aire y afecta ya a *todos* los ecosistemas, contribuyendo a la destrucción de los recursos.

Es *insostenible*, en particular, el acelerado incremento de gases de efecto invernadero, que está provocando un desarreglo climático, visible ya, entre otras muchas consecuencias, en la rápida disminución de las llamadas nieves perpetuas (la más importante reserva de agua dulce con la que cuentan miles de millones de seres humanos) y en el aumento de la frecuencia e intensidad de fenómenos atmosféricos extremos (huracanes, inundaciones, sequías e incendios...); el cambio climático contribuye así a un proceso de degradación generalizada que corre el riesgo de llegar a ser irreversible, haciendo inhabitable la Tierra para la especie humana.

Es *insostenible* el proceso de urbanización acelerada y desordenada que potencia los efectos de la contaminación (a causa del transporte, calefacción, acumulación de residuos, etc.) y el agotamiento de recursos (con la destrucción de terrenos agrícolas, el aumento de los tiempos de desplazamiento y consiguiente mayor consumo de recursos energéticos).

Es *insostenible* el crecimiento explosivo de la población mundial, que puede estar ya cerca de sobrepasar la capacidad de carga del planeta: la especie humana acapara ya casi tanta producción fotosintética como la totalidad de las restantes especies, y su huella ecológica (es decir, el área de territorio ecológicamente productivo necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población dada) ha superado ampliamente la biocapacidad del planeta.

Es *insostenible* la acelerada pérdida de biodiversidad, que obliga a hablar de una sexta gran extinción ya en marcha, que amenaza con romper los equilibrios de la biosfera y arrastrar a la propia especie humana, causante de esta extinción.

Es *insostenible* e inaceptable el desequilibrio entre una quinta parte de la humanidad

impulsada al *hiperconsumo* y miles de millones de personas que sufren hambre y condiciones de vida insoportables. Baste señalar que los 20 países más ricos del mundo han consumido en el último siglo más naturaleza, es decir, más materia prima y más recursos energéticos no renovables, que toda la humanidad a lo largo de su historia y prehistoria, mientras que para 1500 millones de seres humanos, que viven con menos de un dólar al día, “*aumentar su consumo es cuestión de vida o muerte y un derecho básico*” (Gordimer, 1999).

Es *insostenible*, en definitiva, un sistema socioeconómico que apuesta por el crecimiento económico indefinido en un planeta finito y que es responsable de estos y otros problemas igualmente graves, como la pérdida de diversidad cultural (garantía de la pluralidad de respuestas a los retos a que se enfrenta la humanidad) o los conflictos y violencias causados por la competitividad, por el afán de controlar los recursos energéticos y otras materias primas y, en definitiva, por la destructiva anteposición de intereses particulares a la cooperación en beneficio de todos.

Se suele replicar a estos análisis recordando que el extraordinario crecimiento económico que tuvo lugar en buena parte del planeta desde la segunda mitad del siglo XX produjo importantes avances sociales. Se señala, por ejemplo, que la esperanza de vida en el mundo pasó de 47 años en 1950 a 64 años a finales del siglo XX. Una mejor dieta alimenticia, por ejemplo, se logró aumentando la producción agrícola y ganadera, las capturas pesqueras, etc. Esta y otras mejoras han exigido maquinaria de labranza, plaguicidas, barcos frigoríficos... y abundantes recursos energéticos: han exigido, en definitiva, un enorme crecimiento económico, pese a estar lejos de haber alcanzado a la mayoría de la población. Esa es una de las razones, sin duda, por la que muchos responsables políticos, movimientos sindicales, etc., apuestan por la continuación del crecimiento.

Sin embargo, estudios como los de Meadows sobre “*Los límites del crecimiento*”, realizados en los años sesenta del siglo XX, comenzaron ya a mostrar la estrecha vinculación entre los indicadores de crecimiento económico y los de degradación ambiental, viniendo a cuestionar la posibilidad de un crecimiento continuado (Meadows et al., 1972). El concepto de *huella ecológica* ha permitido cuantificar aproximadamente estos límites: se estima que en la actualidad la huella ecológica media por habitante es de 2,8 hectáreas, lo que multiplicado por los más de 7000 millones de habitantes supera con mucho la superficie ecológicamente productiva (incluyendo los ecosistemas marinos) o *biocapacidad* de la Tierra, que se ve reducida a 1.7 hectáreas por habitante. Puede afirmarse, pues, que la especie humana está consumiendo más recursos que los que el planeta puede regenerar y produciendo más residuos que los que se pueden digerir. Todo ello justifica que hoy hablemos de un crecimiento *insostenible*. Como afirma Brown (1998) “Del mismo modo que un cáncer que crece sin cesar destruye finalmente los sistemas que sustentan su vida al destruir a su huésped, una economía global en continua expansión destruye lentamente a su huésped: el ecosistema Tierra”. No es posible, pues, seguir “externalizando” los costes ambientales (ni tampoco los

sociales, con ataques a los derechos laborales, destrucción de servicios públicos, etc.) para reducir costes y ganar competitividad; eso puede favorecer el beneficio económico a muy corto plazo, pero supone un grave e insostenible atentado al bien común que es urgente interrumpir.

No puede extrañarnos, pues, que desde finales del siglo XX se hayan venido prodigando justificados llamamientos y tomas de posición de los movimientos sociales y de la comunidad científica acerca de la necesidad y urgencia de abordar los problemas socioambientales que caracterizan la insostenible situación actual.

### **La necesaria implicación de la comunidad científica**

Podemos comenzar recordando el llamamiento realizado en 1998 por Jane Lubchenco, presidenta a la sazón de la AAAS (American Association for the Advancement of Science) -la más importante asociación científica a nivel mundial, tanto por el número de miembros como por la cantidad de premios Nobel y científicos de alto nivel que forman parte de la misma- reclamando que el siglo XXI sea, para la ciencia, el siglo del medio ambiente y que la comunidad científica “reoriente su maquinaria” hacia la resolución de los problemas que amenazan el futuro de la humanidad (Lubchenco, 1998).

Estos llamamientos no han dejado de multiplicarse: podemos destacar como ejemplo reciente el denominado “*Memorando de Estocolmo: Inclinando la balanza hacia la sostenibilidad*”, documento firmado en mayo de 2011 por los participantes en el Tercer Simposio sobre la Sustentabilidad Ambiental (<http://globalsymposium2011.org/es>), promovido por Naciones Unidas. Entre dichos participantes figuran premios Nobel de Física (Murray Gell-Mann, David Gross, Peter Grünberg, Douglas Osheroff y Carlo Rubbia), Química (Peter Agre, Paul Crutzen, Walter Kohn, Harold Kroto y Mario Molina), Economía (James Mirrlees, Douglass North y Amartya Sen), Medicina (Werner Arber, John Sulston y Peter Doherty) y Literatura (Nadine Gordimer). El memorando publicado reclama una urgente transición a la sostenibilidad que implica, entre otros, una transformación radical en la forma de usar la energía y las materias primas mediante mecanismos que desacoplen el desarrollo económico de la utilización de recursos energéticos contaminantes y no renovables. El documento termina con estas palabras: “Somos la primera generación consciente del nuevo riesgo global que enfrenta la humanidad, por lo que recae sobre nosotros cambiar nuestra relación con el planeta para asegurar que dejaremos un mundo sostenible a las futuras generaciones”.

Mención especial merece el programa de investigación de 10 años “*Future Earth – Research for Global Sustainability*” (<http://www.icsu.org/future-earth>) lanzado en 2012 tras la Cumbre de la Tierra Rio+20 por el International Council for Science (ICSU), que pretende movilizar a millares de científicos y reforzar los vínculos con los responsables en la toma de decisiones, para fundamentar la transición hacia la sostenibilidad global.

De forma convergente, el Secretario General de la ONU, Ban Ki-moon, ha lanzado en agosto de 2012 la *Red de Soluciones para el desarrollo sostenible* (<http://unsdsn.org/>), una

nueva red mundial, de carácter independiente, integrada por centros de investigación, universidades e instituciones técnicas, dirigida por el profesor Jeffrey Sachs, Asesor Especial del Secretario General de la ONU para los Objetivos de Desarrollo del Milenio, que culminan en 2015. La iniciativa es, precisamente, parte del mandato de la ONU para *Beyond 2015* (<http://www.beyond2015.org/>), es decir, para el establecimiento de unos nuevos y ambiciosos *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.

Estos y otros llamamientos han dado ya lugar a desarrollos científicos y tecnológicos importantes en campos como la puesta a punto de recursos energéticos limpios y sostenibles, el aumento de la eficiencia de aparatos y procesos (con el consiguiente ahorro energético), la producción ecológica de alimentos, la reducción y reciclado de los desechos, la prevención de catástrofes, la recuperación de ecosistemas dañados, etc. De hecho en publicaciones científicas e incluso en Internet pueden encontrarse una multitud de contribuciones orientadas al logro de la sostenibilidad, relacionadas con distintas disciplinas científicas: Química Verde, Ecología Industrial, Física e Ingeniería para el Medio Ambiente, Economía baja en carbono, etc. Podemos recordar, a título de ejemplo, las palabras del director general de UNESCO, Koïchiro Matsuura, con motivo del Año Internacional de la Química en 2011, refiriéndose explícitamente a la contribución de la Química a la sostenibilidad: “*Sensibilizar al público de la importancia de las ciencias químicas es una tarea de suma importancia, habida cuenta de los desafíos que debe afrontar el desarrollo sostenible. Es indudable que la química desempeñará un papel muy importante en el desarrollo de fuentes alternativas de energía y la alimentación de la creciente población mundial*”.

Y del mismo modo, una amplia literatura muestra innumerables contribuciones de la Educación ambiental, con tratamientos que contemplan el Ambiente en su sentido más amplio, es decir, que incluyen a la especie humana como parte del mismo, tal como se propuso ya en la *Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano*, celebrada en Estocolmo en 1972. Como parte de este proceso surgieron, entre otras cosas, las propuestas de Educación para el Desarrollo sostenible (EDS) y se aprobó por la Asamblea General de Naciones Unidas el lanzamiento de la *Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible 2005-2014* (<http://www.oei.es/decada>), también denominada en su origen *Educación por un futuro sostenible*, con el propósito de implicar al conjunto de la población en la necesaria y cada vez más urgente transición a la sostenibilidad, solicitando para ello el apoyo de *todas* las áreas y *todos* los niveles educativos, tanto de la educación formal como de la no reglada.

Nos encontramos así, por una parte, con una creciente gravedad de problemas que amenazan con una degradación irreversible de las condiciones de vida en el planeta y, por otra, con un número también creciente de estudios y propuestas para hacer frente a dichos problemas que han dado lugar, como ya hemos señalado, a notables realizaciones a favor de la sostenibilidad. Pero, pese a la importancia de estas contribuciones de distintas áreas de conocimiento, se ha empezado a comprender sus serias limitaciones, debido a que los problemas que se pretende resolver están estrechamente vinculados y se potencian

mutuamente, por lo que no pueden abordarse separadamente. Esa es la conclusión de Jared Diamond, en su libro *Colapso*, tras analizar 12 grupos de problemas a los que se enfrentan nuestras sociedades y que van desde la destrucción acelerada de hábitats naturales a la explosión demográfica, pasando por la incorrecta gestión de recursos como el agua, o la contaminación provocada por las industrias y el transporte: “Si no resolvemos cualquiera de la docena de problemas sufriremos graves perjuicios (...) porque todos ellos se influyen mutuamente. Si resolvemos once de los doce problemas, pero no ese decimosegundo problema, todavía nos veríamos en apuros, con independencia de cuál fuera el problema” (Diamond, 2006, página 645).

En ello ha insistido recientemente el Secretario General de Naciones Unidas, Ban Ki-moon, haciéndose eco de los estudios científicos: “Los problemas más acuciantes están vinculados”. No es posible resolver un único problema –ya sea el agotamiento de recursos, el cambio climático, la pobreza extrema o la crisis económica- sin tener en cuenta su vinculación con los restantes. Ese es precisamente uno de los argumentos esgrimidos para justificar la creación en 2006 de una revista específicamente dedicada a una nueva y pujante área de conocimiento, la “Sustainability Science”: “Los problemas a los que la Ciencia de la Sostenibilidad ha de hacer frente no solo son complejos sino que están interconectados. Para encontrar soluciones a los mismos, debemos clarificar primeramente sus relaciones” (Komiyama & Takeuchi, 2006).

Presentaremos ahora esta nueva *Ciencia de la Sostenibilidad*, cuyo surgimiento constituye una profunda revolución científica, necesaria para hacer frente a la problemática sistémica y compleja que caracteriza la insostenible situación de emergencia planetaria en la que nos encontramos.

### **La *Ciencia de la Sostenibilidad*: una revolución científica para la construcción de un futuro sostenible**

Como acabamos de señalar, la estrecha vinculación de los problemas socioambientales que caracterizan la grave situación de emergencia planetaria reduce la efectividad de su tratamiento por separado realizado por distintas disciplinas, por lo que se precisa una nueva área de conocimientos, una *Ciencia de la Sostenibilidad*, que integre campos aparentemente tan alejados como, por ejemplo, el de la economía, el del estudio de la biodiversidad y el de la eficiencia energética, pero que tienen en común el referirse a acciones humanas que afectan a la naturaleza. Así lo destacan 23 investigadores procedentes de distintas áreas en un artículo conjunto publicado en la revista *Science* en 2001: “Está emergiendo un nuevo campo de ciencia para la sostenibilidad que busca comprender el carácter fundamental de las interacciones entre la naturaleza y la sociedad” (Kates et al., 2001). Komiyama & Takeuchi (2006) se refieren, en particular, al necesario reconocimiento de la existencia de un “vínculo fundamental entre ciencia y economía”, algo que, debemos insistir, no tiene nada que ver con poner a la tecnociencia al servicio de la economía; muy al contrario, supone el reconocimiento

de que la economía no puede desarrollarse autónomamente, ignorando los problemas socioambientales estudiados por otras ciencias; y que, paralelamente, dichos problemas no pueden ser resueltos y ni siquiera comprendidos si no se analiza su vinculación con el crecimiento económico.

Se hace evidente, pues, la necesidad de abordar globalmente, sin reduccionismos, el sistema cada vez más complejo constituido por las sociedades humanas y los sistemas naturales con los que interactúan y de los que, en definitiva, forma parte. Esa es la razón de ser de la naciente *Ciencia de la Sostenibilidad*, cuyo objetivo explícito es contribuir a la transición a la sostenibilidad (Clark y Dickson, 2003), es decir, señalar el camino hacia una sociedad sostenible (Komiya & Takeuchi, 2006).

Se trata de una ciencia nueva para un nuevo período de la historia de la humanidad, el *Antropoceno*, en el que el planeta está experimentando grandes cambios, debidos principalmente a la acción de los seres humanos y que afectan desde la biodiversidad hasta a la composición de la atmósfera, amenazando la supervivencia de la propia especie humana: “La Revolución Industrial y los cambios económicos, demográficos, tecnológicos y culturales asociados a la misma han conducido a lo que muchos científicos han comenzado a denominar ‘el Antropoceno’, que podemos básicamente traducir como la Edad de los seres humanos. Una respuesta a este desarrollo es el campo emergente de la ‘Ciencia de la Sostenibilidad’, un intento multidisciplinar y sistémico de percibir y comprender esta nueva etapa. Para lograrlo, sin embargo, es necesario desarrollar metodologías y marcos conceptuales que vayan más allá de las orientaciones existentes, predominantemente reduccionistas, que puedan abordar las características emergentes de sistemas complejos en los que se integran sistemas culturales y sociales, construcciones tecnocientíficas y sistemas naturales” (Allenby, 2006).

Puede afirmarse por ello que nos encontramos ante *una profunda revolución científica* (Vilches y Gil, 2003): después de la revolución copernicana que vino a unificar Cielo y Tierra, después de la Teoría de la Evolución, que estableció el puente entre la especie humana y el resto de los seres vivos... ahora estaríamos asistiendo a la integración del desarrollo social (económico, industrial, cultural...) con los procesos del llamado mundo natural. Se derriban así barreras como la que separaba las ciencias sociales de las naturales, haciendo posible la comprensión de las interacciones humanidad/medio físico al abordar conjuntamente una problemática que es sistémica y compleja.

Para mejor comprender el alcance de esta revolución científica conviene detenerse en las características de la nueva Ciencia de la Sostenibilidad. Por lo que llevamos dicho hasta aquí, es obvio que ha de ser profundamente *interdisciplinaria*, para evitar el olvido de factores esenciales, que deben ser contemplados *conjuntamente*, puesto que se abordan retos complejos en los que intervienen problemas muy diversos pero estrechamente vinculados. Eso obliga a integrar una pluralidad de conocimientos utilizando estrategias de investigación sistémicas, para no caer en simplificaciones inadecuadas que bloquean la comprensión y conducen a supuestas “soluciones” que generan problemas aún más graves que los que se



pretendían resolver. Es lo que ocurrió, por citar un ejemplo paradigmático, con el uso del DDT, plaguicida sintetizado tras la segunda guerra mundial para lograr mejores cosechas y dar a comer a una población en rápido crecimiento: hubo que acabar prohibiéndolo por sus graves efectos permanentes sobre el medio ambiente, incluida la propia especie humana.

Pero la revolución científica que supone la Ciencia de la Sostenibilidad va más allá de la unificación de campos y resulta aún más profunda: se ha comprendido que, para hacer posible la transición a la sostenibilidad, es necesario incorporar en la investigación y toma de decisiones a personas cuyo trabajo habitual se desarrolla fuera del ámbito académico, porque los objetivos, conocimientos y posibilidad de intervención de la ciudadanía resultan imprescindibles para definir y poner en práctica estrategias viables. Se trata, pues, de una ciencia *transdisciplinar* que potencia la participación ciudadana desde el origen mismo de los estudios realizados, es decir, que apuesta por una plena integración ciencia/sociedad que rompa el aislamiento del mundo académico y multiplique la efectividad del trabajo conjunto.

Debemos recordar a este respecto el papel esencial jugado por la ciudadanía en la resolución de problemas tan graves como el ya mencionado del DDT y otros contaminantes orgánicos permanentes. La denuncia realizada por Rachel Carson (1962) en su libro “*Primavera silenciosa*” provocó críticas violentas y un acoso muy duro por parte de la industria química, políticos, e incluso *numerosos científicos*, que negaron inicialmente valor a sus pruebas. Sin embargo, apenas 10 años más tarde se reconoció que el DDT era realmente un peligroso veneno y se prohibió su utilización en el mundo rico, aunque, desgraciadamente, se siguió utilizando en los países en desarrollo. Lo que interesa destacar aquí es que la batalla contra el DDT fue dada por científicos como Rachel Carson *en confluencia con grupos ciudadanos* que fueron sensibles a sus llamadas de atención y argumentos. De hecho Rachel Carson es hoy recordada como “madre del movimiento ecologista”, por la enorme influencia que tuvo su libro en el surgimiento de grupos activistas que reivindicaban la necesidad de la protección del medio ambiente, así como en los orígenes del movimiento denominado CTS (Ciencia- Tecnología-Sociedad) y más recientemente CTSA (agregando la A de Ambiente para llamar la atención sobre los graves problemas de degradación del medio que afectan cada vez más a la totalidad del planeta). Sin la acción de estos grupos de ciudadanos y ciudadanas alfabetizados científicamente, es decir, *con capacidad para comprender los argumentos de Carson*, la prohibición se hubiera producido mucho más tarde, con efectos aún más devastadores. Una situación similar se vivió en los años 70 con el uso de los compuestos cloro-flúor-carbonados (CFC), utilizados en sistemas de refrigeración, pulverizadores, etc., y el hallazgo de que provocaban un peligroso adelgazamiento de la capa de ozono que nos protege de las radiaciones ultravioleta: gracias a los trabajos de científicos como Crutzen, Rowland y Molina y *al apoyo del movimiento ecologista*, que contribuyó a dar realce social a sus investigaciones, se logró en 1987 prohibir su uso en el Protocolo de Montreal, a tiempo de evitar una catástrofe mayor. Y si bien los tres investigadores acabaron obteniendo el Premio Nobel en 1995, no debemos olvidar que la primera reacción, sobre todo del mundo

empresarial, fue poner en duda estos resultados acusando a los científicos de catastrofistas. Por ejemplo, el presidente de “Dupont”, líder mundial en producción de CFC, calificó los estudios de “relatos de ciencia ficción” y “montón de basura”. La acción ciudadana fue determinante para el logro del Protocolo de Montreal, como lo fue en la prohibición del DDT.

Ejemplos como estos han contribuido a hacer ver la importancia de la transdisciplinariedad para la Ciencia de la Sostenibilidad, cuya problemática afecta muy directamente a la ciudadanía. Ya no se trata de esperar a que los movimientos ciudadanos reaccionen *a posteriori* ante los efectos negativos de un determinado desarrollo tecnocientífico, sino de implicarles desde el primer momento en los análisis y toma de decisiones. No tiene sentido hoy, por ejemplo, que se apruebe la extracción de hidrocarburos mediante la tecnología del “fracking” o fractura hidráulica sin un análisis completo de sus consecuencias socioambientales a corto, medio y largo plazo, algo a lo que han de contribuir distintos sectores de la comunidad científica –no solo el que se plantea la viabilidad técnica del proceso- y, por supuesto, los sectores ciudadanos directa e indirectamente implicados.

Hablar, como acabamos de hacer, de *consecuencias socioambientales a corto, medio y largo plazo* conduce a referirnos a una tercera característica fundamental de esta nueva ciencia transformadora: sus estrategias deben responder a una *visión amplia*, holística, tanto espacial como temporalmente: han de estar concebidas en una perspectiva “glocal” (a la vez global y local) y *a largo plazo*, esforzándose en anticipar riesgos y obstáculos y en aprovechar tendencias positivas. Dicho de otro modo, todos los objetivos a corto o medio plazo, en el problema de la energía o en cualquier otro, han de tener presente esta visión amplia, sólidamente fundamentada, para no entrar en contradicción entre sí. Y esta visión amplia, esta *cosmovisión* que fundamenta la *Ciencia de la Sostenibilidad* apunta a la construcción de una *sociedad sostenible*, en la que el crecimiento depredador e insolidario es sustituido por un desarrollo sostenible, susceptible de “satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988).

### **La transición energética como componente esencial de la transición a la sostenibilidad**

La transición energética solo es concebible, es preciso insistir, como parte de la *transición a la sostenibilidad* y ha de ser solidaria, pues, de otras transformaciones igualmente necesarias para el logro de un futuro sostenible, como la superación del actual modelo económico “marrón”, basado en un crecimiento continuado, depredador, contaminante e insolidario, generador de desequilibrios e insostenible. Podemos referirnos a este respecto a la “Green Economy Initiative”, un proyecto impulsado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) que fomenta la inversión en tecnologías sostenibles. Y también cabe mencionar lo que Jeremy Rifkin (2010, capítulo 13) ha denominado *Tercera Revolución Industrial*, asociada al desarrollo de las energías renovables, del mismo modo que la Primera Revolución Industrial estuvo asociada al carbón, y la Segunda al petróleo. Rifkin

resume los fundamentos de esta revolución (que en realidad no sería solo industrial, sino civilizatoria) en cuatro pilares:

- Lograr la transición energética sustituyendo los recursos fósiles y la energía nuclear por energía limpia y renovable para todos (*1er pilar de la 3ª Revolución Industrial*) al tiempo que se estimula el ahorro energético en calefacción, refrigeración, etc., y se incrementa la eficiencia de aparatos, sistemas y procesos, reduciendo el consumo de recursos básicos (energéticos, agua, suelo cultivable...).
- Incrementar, en particular la eficiencia de los edificios que pueden convertirse en generadores locales de energía (*2º pilar de la 3ª Revolución Industrial*). “En veinticinco años -señala Rifkin- se renovarán o construirán millones de hogares, oficinas, centros comerciales, fábricas y parques industriales y tecnológicos que funcionarán como plantas energéticas, además de como hábitats. Estos edificios acumularán y generarán energía local a partir del Sol, el viento (...) suficiente para cubrir sus propias necesidades, así como para generar un excedente que pueda compartirse”.
- Desarrollar formas de almacenar la energía procedente de fuentes renovables que faciliten la conversión de los suministros intermitentes de estas fuentes en recursos disponibles en cualquier momento: hidrógeno, pilas de combustible... (*3er pilar de la 3ª Revolución industrial*).
- Desarrollar redes inteligentes de distribución de energía eléctrica siguiendo los pasos de Internet (*4º pilar de la 3ª Revolución industrial*). “El flujo energético centralizado y vertical que existe en la actualidad está cada vez más obsoleto. En esta nueva era energética, empresas, corporaciones locales y propietarios se convertirán en productores y consumidores de su propia energía, en lo que se conoce con el nombre de ‘generación distributiva’.”

Y a la pregunta, frecuentemente planteada, de si los recursos renovables serán capaces de proporcionar la energía suficiente para el funcionamiento de la economía global, Rifkin contesta: “millones de productores locales de energías renovables con acceso a redes eléctricas inteligentes podrían producir y compartir una cantidad de energía distributiva muy superior a la de las viejas formas centralizadas de las que actualmente dependemos (petróleo, carbón, gas natural y energía nuclear)”. De hecho, la posibilidad de cubrir las necesidades energéticas de la humanidad con el impulso de la eficiencia energética, el consumo responsable y el desarrollo de fuentes limpias y sostenibles, viene avalada por estudios convergentes bien fundamentados. Así, uno recientemente realizado por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2011) muestra con datos rigurosos que sería posible satisfacer las necesidades energéticas del planeta, *antes de 2050*, contando únicamente con recursos renovables y limpios, con lo que se podría evitar que la concentración de gases de efecto invernadero supere valores incontrolables. Siempre, claro está, que se realicen las necesarias inversiones para impulsar la investigación y el desarrollo en este campo. Esto es algo en lo que es preciso insistir, dado que algunos gobiernos están

recortando las ayudas al sector de las energías renovables argumentando que, en momentos de crisis e incertidumbre económica como los actuales, estos esfuerzos de investigación e innovación suponen un lujo que no podemos permitirnos. Pero, como ha explicado Ban Ki-moon, apoyándose en el amplio consenso de la comunidad científica, lo que no podemos permitirnos es esperar: esta revolución energética es necesaria, urgente y posible “para minimizar los riesgos climáticos, reducir la pobreza y promover un desarrollo económico sostenible, la paz, la seguridad y la salud del planeta”.

Esta necesidad y *posibilidad* de la transición energética para el logro de energía sostenible para todos, constituye un buen ejemplo de los planteamientos inter y transdisciplinares con que aborda los problemas la Ciencia de la Sostenibilidad, en una perspectiva espacial y temporal amplia, como puede constatare en los numerosos trabajos publicados en revistas específicas de este nuevo campo de conocimientos. Terminaremos, pues, este trabajo con una breve presentación del pujante desarrollo de esta nueva ciencia, que se ha convertido en un instrumento esencial para la construcción de un futuro sostenible.

### **La Ciencia de la Sostenibilidad como pujante nueva área de conocimiento**

Como ya hemos señalado en un trabajo precedente (Vilches y Gil Pérez, 2013), la Ciencia de la Sostenibilidad está experimentando un impresionante desarrollo en torno a un conjunto de preguntas clave, muchas de las cuales aparecen explícitamente formuladas en diversos documentos “fundacionales” de la nueva área (Kates et al., 2001; Turner et al., 2003; Clark y Dickson, 2003; Komiyama y Takeuchi, 2006). Las sintetizamos a continuación en un orden que, por supuesto, no responde a ninguna jerarquización:

- *¿Cuáles son los problemas a los que se enfrenta hoy la humanidad y cuáles son sus vinculaciones?*
- *¿Por qué una Ciencia de la Sostenibilidad si de esta problemática ya se vienen ocupando distintas ciencias? ¿Qué se gana con ello?*
- *¿En qué consiste la Ciencia de la Sostenibilidad? y ¿Cuáles son las interacciones naturaleza-sociedad que intentan clarificar la especificidad de la nueva ciencia?*

Buen número de las preguntas abordan cuestiones acerca del propósito fundamental de la Ciencia de la Sostenibilidad, que es contribuir a hacer posible una transición a la sostenibilidad:

- *¿Por qué es necesaria una transición a la sostenibilidad? ¿Cuáles son sus objetivos? ¿Qué medidas se precisan para lograr la sostenibilidad y cómo llevarlas adelante?*
- *¿Cuál es el papel de la educación en este proceso?*
- *¿Cuáles son los obstáculos? ¿Y las tendencias positivas?*
- *¿Cómo evaluar los avances hacia la sostenibilidad? ¿Cuáles pueden ser los indicadores?*

Respondiendo a este tipo de preguntas, la nueva Ciencia de la Sostenibilidad ha avanzado en los tratamientos cuantitativos (Orecchini, 2007) y realizado ya numerosas aportaciones:

“Hoy el nuevo campo ha desarrollado ya una agenda básica de investigación, está produciendo un creciente flujo de resultados, y sus métodos y contribuciones se enseñan en un número cada vez mayor de universidades. Como las ciencias agrícolas y de la salud, la Ciencia de la Sostenibilidad es un campo definido por los problemas que aborda más que por las disciplinas que emplea. En particular, este campo pretende facilitar lo que el National Research Council [USA] ha denominado una ‘transición hacia la sostenibilidad’, mejorando la capacidad de la sociedad para utilizar la Tierra de forma que simultáneamente satisfaga las necesidades de una población que sigue creciendo aunque tiende a estabilizarse, proteja los ecosistemas del planeta que dan soporte a la vida, y reduzca drásticamente el hambre y la pobreza” (Clark, 2007). Más concretamente, los trabajos de transición a la sostenibilidad abordan cuestiones como las siguientes:

- Necesidad y posibilidad de la transición a la sostenibilidad
- Necesidad de una visión global de objetivos básicos para el desarrollo Sostenible (ODS)
- Combatir los desequilibrios y discriminaciones
- Regeneración ambiental
- Transición a una economía sostenible
- Transición energética
- Consumo responsable
- Transición demográfica
- Transición educativa y cultural
- Transición de la forma de investigación para incorporar la inter y transdisciplinariedad
- Transición de la gobernanza y toma de decisiones
- Evaluación de la transición a la sostenibilidad

Kajikawa y otros (2007) realizaron un cuidadoso análisis bibliográfico concluyendo que se estaban publicando anualmente más de 3000 artículos en un número creciente de revistas específicas, de las que dan una amplia enumeración y de las que podemos destacar tres, todas ellas publicadas digitalmente: *Sustainability Science* (<http://link.springer.com/journal/11625>, desde 2006), *Sustainability: Science, Practice, & Policy* (<http://sspp.proquest.com/>, desde 2005) y los *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* (<http://www.pnas.org/>). Más recientemente, Bettencourt y Kaur (2011) concluyen que “el campo está actualmente creciendo de forma exponencial, con un periodo de duplicación de 8.3”.

Es preciso insistir, por otra parte, en que el desarrollo de la Ciencia de la Sostenibilidad favorece a las propias ciencias de las que se nutre. A título de ejemplo podemos referirnos a cómo la industria química se está beneficiando de los avances en energías renovables y muy en particular en las de aprovechamiento de la biomasa. En efecto, muchos procesos químicos industriales son altamente dependientes del petróleo como materia prima, compitiendo con su uso como combustible. Los progresos logrados en el uso de biomasa (no destinada a alimentación) para la obtención de biocombustibles ofrecen alternativas para la obtención de productos esenciales (desde plásticos y tejidos sintéticos a medicamentos) sin tener que

recurrir al petróleo como materia prima. Los avances en este campo están siendo tan rápidos que la formación de la próxima generación de químicos e ingenieros químicos deberá cambiar desde el énfasis actual en las manufacturas de base petroquímica a un énfasis mucho mayor en los procesos que utilicen productos biológicos como materias primas (Steinfeld, 2006).

Y en este desarrollo, la educación está jugando y ha de seguir jugando un papel esencial, como demanda el carácter transdisciplinar de la Ciencia de la Sostenibilidad. Así lo destacan Komiyama y Takeuchi (2006) en el Editorial del primer número de la revista *Sustainability Science*: “quisiéramos enfatizar el papel clave de la educación en este proceso (...) Es particularmente esencial que se logre interesar a la generación que será adulta a mediados del siglo XXI -cuando se espera que se alcancen valores críticos en la disponibilidad de fuentes de energía y de otros recursos- en los problemas de sostenibilidad y en cómo resolverlos”.

## Referencias

- AGECC (Advisory Group on Energy and Climate Change). (2010). *Energy for a Sustainable Future*. Acceso libre en Internet.
- Allenby, B. (2006). Macro-ethical systems and sustainability science, *Sustainable Science*, 1, 7-13.
- Bettencourt, L. & Kaur, J. (2011). Evolution and structure of sustainability science, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 6 December 2011: 19540-19545.
- Brown, L. R. (1998). El futuro del crecimiento. En The Worldwatch Institute, *La situación del mundo 1998*. Barcelona: Ed. Icaria.
- Bybee, R. (1991). Planet Earth in Crisis: How Should Science Educators Respond? *The American Biology Teacher*, 53(3), 146-153.
- Carson, R. (1962). *Silent Spring*. Boston, USA: Houghton Mifflin.
- Clark, W. C. (2007). Sustainability science: A room of its own, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(6), pp. 1737-1738.
- Clark, W.C. & Dickson, M. (2003). Sustainability science: The emerging research program, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(14), pp. 8059- 8061.
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1988). *Nuestro Futuro Común*. Madrid: Alianza.
- Diamond, J. (2006). *Colapso*. Barcelona, España: Debate.
- Duarte, C. (Coord.) (2006). *Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. Madrid: CSIC.
- Gordimer, N. (1999). Hacia una sociedad con valor añadido. *El País*, domingo 21 de febrero, páginas 15-16.
- Greenpeace (2012). *The Energy [R]evolution 2012. A sustainable World Energy Outlook to save the climate, reduce fossil-fuel dependence and create more employment*. Acceso libre en Internet.
- IPCC (2011). *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRREN)*. Acceso libre en Internet (<http://www.inesglobal.com/ipcc-report-on-renewables.phtml>).
- Kajikawa, Y., Ohno, J., Takeda, Y., Matsushima, K. y Komiyama, H. (2007). Creating an academic landscape of sustainability science: an analysis of the citation network, *Sustainability Science* 2, 221-231.
- Kates, R. W., Clark, W.C., Corell, R., Hall, J. M., Jaeger, C.C., Lowe, I., Mccarthy, J. J., Schellnhuber, H. J.,

- Bolin, B., Dickson, N. M., Faucheux, S., Gallopin, G. C., Grübler, A., Huntley, B., Jäger, J., Jodha, N. S., Kasperson, R. E., Mabogunje, A., Matson, P., Mooney, H., Moore, B. Iii., O'riordan, T., Svedin, U. (2001). Sustainability Science, *Science* 27 April 2001, Vol. 292 no. 5517 pp. 641-642.
- Komiyama, H. & Takeuchi, K. (2006) Sustainability science: building a new discipline, *Sustainability Science*, 1(1), pp. 1-6 (2006).
- Lubchenco, J. (1998). Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science. *Science*, 279, no. 5350, pp. 491-497.
- Meadows, D. H. Meadows, D. L. Randers, J. y Behrens, W. (1972). *Los límites del crecimiento*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- Orecchini, F. (2007). A “measurable” definition of sustainable development based on closed cycles of resources and its application to energy systems, *Sustainability Science*, 2, 245–252.
- Rifkin, J. (2010). *La civilización empática. La carrera hacia una conciencia global en un mundo en crisis*. Barcelona: Paidós.
- Turner, B.L., Kaspersonb, R., Matsone, P., McCarthy, J., Corell, R., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J., Luers, A., Martello, M., Polsky, C., Pulsipher, A. and Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 100, 8074-8079.
- Vilches, A. y Gil, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid, España: Cambridge University Press.
- Vilches, A. y Gil Pérez, D. (2012). Año Internacional de la Energía Sostenible para Todos: La transición desde las energías no renovables a la energía sostenible. *Revista Española de Física*, 26 (4), pp. 15-18.
- Vilches, A. y Gil Pérez, D. (2013). Ciencia de la Sostenibilidad: Un nuevo campo de conocimientos al que la Química y la Educación Química están contribuyendo, *Educación Química*, 24 (2), 199-206.
- Worldwatch Institute (1984-2013). *The State of the World*. New York, USA: W.W. Norton.
- WWF (2011). *The Energy Report. 100% Renewable Energy by 2050*. Acceso libre en Internet.