

## Sostenibilidad, ingeniería y enseñanza de las ciencias básicas. Marco teórico conceptual

Francisco O. Machín Armas\*, Santiago G. Céspedes Montano\*, Aleida N. Riverón Mena\*\* y Eduardo Fernández Santiesteban\*

**Resumen.** Desde una perspectiva sistémica se presenta en el artículo una amplia revisión bibliográfica sobre la educación para la sostenibilidad en las ingenierías a partir de la enseñanza de las ciencias básicas (Física, Matemática y Química). En el trabajo se analiza cómo al evolucionar el estudio de la interacción sociedad naturaleza desde concepciones ambientales hasta las de desarrollo sostenible y ciencia de la sostenibilidad, paralelamente la educación ambiental evoluciona hacia la educación para la sostenibilidad y educación en ciencia de la sostenibilidad. Además, se argumenta como preparar a los estudiantes de ingeniería desde la enseñanza de estas ciencias para favorecer la futura actuación profesional de estos en función del desarrollo sostenible, al precisar en el contenido curricular las potencialidades educativas de las dimensiones ambiental, tecnológica, ético - educativa, social y económica de la sostenibilidad en este tipo de profesiones. También son expuestos ejemplos de cómo potenciar el desarrollo de determinados indicadores del proceso formativo profesional en estas carreras, orientados hacia una actuación favorable hacia los problemas de la energética, el empleo de materiales, el medio ambiente y el desarrollo social.

**Palabras clave:** ciencia de la sostenibilidad; educación para la sostenibilidad; ciencias básicas; formación de ingenieros

### **SUSTENTABILIDADE, ENGENHARIA E ENSINO DE CIÊNCIAS BÁSICAS. QUADRO TEÓRICO CONCEITUAL**

**Resumo.** Neste artigo, apresenta-se uma extensa revisão da literatura sobre a educação para a sustentabilidade em Engenharia pelo ensino de ciências básicas (Física, Matemática e Química), a partir de uma perspectiva sistémica. Neste trabalho, analisa-se como evoluir o estudo da interação entre sociedade e natureza desde conceitos ambientais até conceitos de desenvolvimento sustentável e de ciência da sustentabilidade, paralelamente, a educação ambiental evolui em direção à educação para a sustentabilidade e à educação em ciência da sustentabilidade. Além disso, argumenta-se como se devem preparar os estudantes de Engenharia, a partir do ensino destas ciências, para promover o seu futuro desempenho profissional em

\* Departamento de Física y Química, Universidad de Holguín, Cuba.

\*\* Departamento de Derecho, Universidad de Holguín, Cuba.

*termos de desenvolvimento sustentável, ao consolidar no conteúdo curricular os potenciais educativos das dimensões ambientais, tecnológicas, ético-educativas, sociais e econômicas da sustentabilidade. Também são apresentados exemplos de como maximizar o desenvolvimento de certos indicadores do processo de formação profissional nestes cursos, orientados para um desempenho favorável com relação aos problemas de energia, de uso de materiais, do meio-ambiente e do desenvolvimento social.*

*Palavras-chave: ciência da sustentabilidade; educação para a sustentabilidade; ciências básicas; formação de engenheiros.*

#### **SUSTAINABILITY, ENGINEERING AND THE TEACHING OF BASIC SCIENCES: A FRAME OF THEORETICAL CONCEPTS**

*Abstract. The article presents an extensive bibliography review about education for sustainability in engineering majoring, based on the teaching of basic sciences, namely Physics, Mathematics and Chemistry. It also reveals how the study of the interactions between society and nature evolved from environmental conceptions towards sustainable development and sciences of sustainability and correspondingly, environmental education evolves towards education for sustainability and education in sciences of sustainability. Furthermore this work explains how to train engineering students, through the teaching of basic sciences, so as to favor sustainable development in their future professional performance, by emphasizing the educational potentialities, in the curricular content, of the environmental, technological, ethical, social and economic dimensions of sustainability for this type of careers. Examples are also given on how to enhance the development of some indicators in the formative process of engineers, focused in energy problems, the use of materials, the environment and the social development.*

*Keywords: science of sustainability; education for sustainability; basic sciences; formation of engineers*

## 1. INTRODUCCIÓN

Una educación superior que esté a la altura de las demandas sociales que plantea la concepción de sostenibilidad del desarrollo, está aún por ser alcanzada. Son muy diversas las limitaciones y dificultades presentes dada la complejidad del problema, por lo que la transformación de la práctica y el contenido de la educación superior se aprecia como un duro desafío, y los resultados reales todavía están lejos de la imagen deseada de una educación universitaria para el desarrollo sostenible (Holmberg, Lundqvist, Svanström y Arehag, 2012, apud Holmberg y Samuelsson, 2006).

Es la inclusión de la concepción de sostenibilidad en la formación de ingenieros un problema de la contemporaneidad, con significativos desafíos por resolver (Segalás, 2004), (Braun, 2010), (Díaz, 2015), que según estos autores son entre otros los que siguen:

- No están desarrolladas con precisión las herramientas didácticas que permitan determinar cómo se aplica la concepción de sostenibilidad en el contenido curricular de las ingenierías.
- No es la concepción de sostenibilidad un constructo teórico que manejen con facilidad profesores y estudiantes de las carreras de ingeniería, dada su complejidad intrínseca.
- Como organizador, tecnólogo y gestor de la industria y los servicios en cuanto a recursos humanos, materiales y energéticos el ingeniero necesita manejar con soltura la concepción de sostenibilidad del desarrollo y en especial la energética, lo que está aún por lograr.

Resulta de interés en las facultades de ingeniería el problema, de ¿cómo potenciar la formación del ingeniero para la sostenibilidad, en el objeto del empleo y manipulación de la energía y los materiales mediante la tecnología? A ello puede contribuir la enseñanza de las ciencias básicas, dadas sus potencialidades educativas para el tratamiento mediante las herramientas matemáticas necesarias de conceptos claves relacionados con los campos de la energética y las propiedades de las sustancias, así como de la capacidad de estas para abordar los problemas relativos a la generación de energía y la obtención de materiales en sus interacciones con el medio ambiente, la sociedad y la economía.

En el presente artículo se presentan los resultados de una revisión sistemática de publicaciones referentes al tema de la implementación de la concepción de sostenibilidad en la enseñanza de las ciencias básicas para la formación de ingenieros. En el, se analizan y sintetizan las principales ideas que sobre sostenibilidad del desarrollo se interrelacionan con la profesiones de ingeniería y como en un proceso lógico - histórico han evolucionado estas, para luego precisar por vía deductiva - inductiva posibles sistematizaciones teóricas en la enseñanza de las ciencias básicas, que puedan ser propuestas en función de la formación de los estudiantes de ingeniería para la sostenibilidad. Al respecto se hacen recomendaciones y proposiciones para investigaciones futuras y la práctica educativa.

## 2. DEL CONCEPTO DESARROLLO SOSTENIBLE AL DE SOSTENIBILIDAD

Es el concepto desarrollo sostenible un paradigma desde el cual se han generado concepciones, que en vez de permitir la elaboración de teorías centradas en la contradicción medio ambiente-desarrollo, se dirige a la búsqueda de compatibilidad entre formas de desarrollo sensibles y no sensibles al medio ambiente (Mateo, 2008 apud Sachs, 1993). Luego, en el pensamiento científico se manifiesta como tendencia la idea de elaborar modelos que salven esta contradicción, tal como se pretende hacer desde el mencionado concepto, que apareció en el estudio presentado por la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas en 1987, denominado Informe Brundtland<sup>1</sup>, en el que se define como “(...) el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Pérez, 2003).

Esta definición tiene un carácter proactivo, ya que se diseña el presente a partir del conocimiento de las necesidades y problemas de las generaciones futuras, es decir, en el accionar de las actuales debe estar el deber moral de preservarles el medio ambiente a las venideras. Desde su propuesta, el concepto desarrollo sostenible comienza a evolucionar hacia la concepción de sostenibilidad, vista esta como una propiedad sistémica. De una forma más actualizada, por sostenibilidad, de acuerdo con (García, Jiménez, Navarrete y Azcárate, 2015) se acepta la ofrecida por la Comisión Sectorial de Calidad Ambiental, Desarrollo Sostenible y Prevención de Riesgos (CADEP -CRUE, 2012), como un concepto «que incluye la búsqueda de la calidad ambiental, la justicia social y una economía equitativa y viable a largo plazo».

La concepción de sostenibilidad se examina hoy desde tres tipos de modelos, los normativos, los analíticos y los sistémicos (Kammerbauer, 2001). Así, la propuesta de definición del Informe Brundtland es un reflejo del carácter normativo del modelo utilizado, el cual resulta operativo ya que se basa en procesos de consensuación entre afectados e interesados, mientras los analíticos están basados en el principio causa efecto de las ciencias de la naturaleza así como en los conceptos de resiliencia, energía y entropía. Los sistémicos, que es el tercer grupo, tienen sus fundamentos en la Teoría General de Sistemas y la Termodinámica no lineal (Bravo y Pallares, 2012).

El concepto de sostenibilidad está asociado a tres categorías conceptuales básicas, que están interrelacionadas, que son adaptabilidad, resiliencia y cambio (Folke y otros, 2010) y (Olsson, Galaz y Boonstra, 2014), o bien, perdurabilidad, resiliencia y transformatividad (Machín, Fernández, González y Bárcenas, 2014), de manera tal que entre el potencial de perdurabilidad de

---

<sup>1</sup> Informe Brundtland. Libro “Nuestro Futuro Común”. Fue el primer intento de resolver la contradicción entre desarrollo y conservación ambiental. Presentado en 1987 por la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU, encabezada por Dra. Harlen Brundtland.

un sistema y las transformaciones continuas de materiales y energía que este verifica, están las propiedades resilientes del mismo.

La sostenibilidad es la capacidad que tiene un sistema de reajustar adaptativamente sus estructuras e interacciones socio-ecológicas para enfrentar las perturbaciones y persistir sin cambios significativos en sus atributos y funciones esenciales (Salas y Ríos, 2013). La resiliencia, es la capacidad sistémica de sufrir conmociones, mientras retiene función, estructura, capacidades de regeneración, y por consiguiente la identidad (Redman, 2014 apud Walker y otros, 2006, Walker y Salt, 2006). Resulta evidente que resiliencia y sostenibilidad son conceptos muy cercanos, pero mientras la primera expresa la capacidad de restauración del sistema ante las variaciones o transformaciones, la segunda manifiesta la preservación de este como tal, a pesar de los procesos de cambios constantes y las perturbaciones, o sea, la conservación evolutiva permite la permanencia a través del cambio (García y Gutiérrez, 2014). El eslabón mediador de esa contradicción entre perdurabilidad y transformación, de acuerdo con la dialéctica de la mediación (Orudzhev, 1978), es la resiliencia, que expresa las propiedades restaurativas del sistema, es decir su homeostasis.

Refleja la sostenibilidad una fundamental propiedad de los sistemas, que es la de preservarse en el tiempo y el espacio, la cual es caracterizada además por un ideal integrativo que engloba varios conceptos, o sea, se manifiesta a través de un espectro conceptual integrado por los términos seguridad, fiabilidad, resiliencia y renovabilidad (Seager, 2008). Esta amplitud indica que lo que se define como sostenible es a la vez resiliente, seguro, fiable y renovable. Pero a la vez, todas estas categorías se integran en un todo único y conforman la sostenibilidad de un sistema, el cual transforma energía y sustancias mientras perdura cierto tiempo. Tiene la sostenibilidad una triple dimensionalidad, ecológica, social y económica y algunos autores incluyen una cuarta, lo político normativo. Pero la idea más general es la de las tres dimensiones citadas, en la que lo político normativo y ético entran dentro de lo social.

No solo es la sostenibilidad una propiedad general de los sistemas socioecológicos, es toda una ciencia, ya que en su evolución apareció la necesidad de su formulación como la ciencia de la sostenibilidad (Kates y otros., 2001), (Raven, 2002), (Komiyama y Takeuchi, 2006), (Yarime, Takeda y Kajikawa, 2010), (Gutiérrez, 2012), (Dedeurwaerdere, 2013), (Vilches y Gil, 2015); la cual es integrativa, interdisciplinaria y transdisciplinaria (Scholz y otros, 2006), (Kajikawa, 2008), (Schoolman y otros, 2011) y (Lang y otros, 2012). Esta tiene por objeto los sistemas socioecológicos, que son de por sí de compleja predicción en cuanto al mantenimiento o agotamiento de sus recursos (Ostrom, 2009). Sin embargo, a pesar de su importancia y desarrollo acelerado en los tres primeros lustros de este siglo XXI, ha tenido poca influencia en las demás ciencias (Vilches y Gil, 2014).

En la crisis de sostenibilidad que enfrenta la humanidad un lugar especial ocupa el problema energético, el cual ante todo tiene carácter social, puesto que la misma evolución de la sociedad ha estado ligada al desarrollo y uso de las diferentes formas de energía, así como de sus tecnologías (White, 2005). En el concepto marxista de desarrollo de las fuerzas productivas, está implícito el crecimiento cuantitativo y cualitativo del empleo de la energía en la producción material, así como el de sus tecnologías, y puede ser apreciado que hasta hoy, el progreso humano ha estado relacionado con el incremento del consumo energético por habitante sobre la base del progreso tecnológico.

### 3. EDUCACIÓN UNIVERSITARIA PARA LA SOSTENIBILIDAD

El término educación para la sostenibilidad se ocupa de lo mismo que la etiqueta educación ambiental, pero desde la aparición del Informe Brundtland en 1987 el primero comenzó a ganar prevalencia, ya que se le dio a su significado una connotación más amplia e inclusiva al integrar los aspectos ambientales, sociales y económicos (Pol y Castrechini, 2013). Actualmente, en consonancia con la aparición y desarrollo de la ciencia de la sostenibilidad se habla en términos de educación en ciencia de la sostenibilidad, la cual retoma la experiencia acumulada por la educación ambiental y se orienta hacia una completa reforma de la sociedad en lugar de solo reformar la conciencia individual, los planes de estudio que promueven el conocimiento conductual, así como las experiencias in situ por sobre solo la satisfacción por el conocimiento (Tamura y Uegaki, 2012). Es de aclarar que la educación ambiental no ha perdido vigencia, ni su relativa independencia, sino que en esta dirección educativa han sido desarrollados modelos más generales, como los expuestos y actualmente se acepta la idea de que el conocimiento científico y la apreciación de los beneficios y límites de la ciencia deben integrar la formación de la ciudadanía en cualquier lugar del planeta (Martín, Prieto y Jiménez, 2013).

La educación en ciencia de la sostenibilidad o la educación para la sostenibilidad, deben ser asumidas como componentes de la resiliencia socioecológica o de la sostenibilidad en el sentido más amplio, porque los seres humanos deben ser educados y preparados para la recuperación y preservación del medio ambiente, la sociedad y la economía. Solo una sociedad con una profunda y amplia formación científico-tecnológica, humanista y ético-moral puede ser resiliente, segura, fiable, renovable y por tanto sostenible. Educar para la sostenibilidad es un imperativo de la contemporaneidad, pues la educación integra el desarrollo sostenible y no es sólo parte de solución del problema, porque la sostenibilidad no puede prescindir de principios, valores y actitudes del individuo que niegan el actual modelo económico imperante en el mundo, el cual es no sostenible por los estilos de vida consumistas que inculca

y su falta de equidad (Gadotti, 2008). Para el logro del desarrollo sostenible, un papel importante lo tiene la educación, por lo que la sostenibilidad debe ser tomada como un valor nuclear y un objetivo fundamental de esta es preparar a los estudiantes y a los jóvenes para modos de vida sostenibles, dentro de comunidades y entornos sostenibles de manera local y global (Echeita y Navarro, 2014). Una alternativa es reconstruir la educación de la ciencia, para que sea capaz de direccionar las dimensiones sociales y éticas de la sostenibilidad y de sopesar las contribuciones científicas junto a otras formas de saber (Feinstein y Kirchgasser, 2015).

Cada vez más en el campo de la educación y la educación superior se integra la sostenibilidad (Luffiego y Rabadán, 2000), (Sibbel, 2009), (Lozano, 2011), (Aznar, Ull, Piñero y Martínez, 2014) y (Weeth y Kirchgasser, 2015), la cual puede ser vista como un tipo especial de conocimiento en el que es destacable el aprendizaje de las actitudes (Segalás, Mulder, y Ferrer-Balas, 2012), así como de los valores, pues esta puede ser apreciada como un valor contextualizado a la profesión, que encuentra su soporte cognitivo en la concepción de sostenibilidad del desarrollo, tomada esta en su dimensionalidad ambiental, social y económica (Machín y Riverón, 2013). Se debe apreciar que el elemento central de la educación para la sostenibilidad es la cuestión del aprendizaje de lo afectivo que tiene su salida en los valores, actitudes y comportamientos (Shephard, 2008), además de que en esta, es destacable su carácter inter y transdisciplinarios desde la clase de problemas en los que se integran los conocimientos de las ciencias naturales, sociales y humanísticas (Scholz y otros, 2006).

Es a través del contenido de las ciencias básicas, las ciencias de la ingeniería y las disciplinas humanísticas tratadas en el contexto de los problemas del mundo actual, impregnadas además por la ética que le pueda integrar el profesor, la vía para formar al ingeniero para la sostenibilidad, pues la educación no es un proceso directo, sino indirecto, ya que se realiza mediante el conocimiento. Educar y ser educados son acciones que se llevan a cabo a través del contenido denominado cultura (Cárdenas y Ribot, 2007) y tiene la universidad contemporánea la obligación de incluir la sostenibilidad en sus currículos, con el fin de que los futuros profesionales desarrollen su trabajo desde una perspectiva sostenible, para que actúen de manera responsable y comprometida con sus entornos más directos (Azcárate, Navarrete y García, 2012), pero además, la de buscar vías hacia la sostenibilidad a través de la educación superior (Sibbel, 2009).

En la formación universitaria se debe de machar hacia una integración de la educación, la investigación y la contribución social para la sostenibilidad (Wiek, Farioli, Fukushi y Yarime, 2012), y de los muchos desafíos, el principal en curso de las instituciones de educación superior

es cómo identificar y llevar a cabo la misión central de la universidad en lo referente a la investigación actual (Yarime y otros, 2012). Pero sobre todo, la educación universitaria debe resolver las limitaciones e insuficiencias que se manifiestan en el tratamiento de la complejidad, incertidumbre y urgencia de los problemas medioambientales globales, que desafían los fundamentos reduccionistas de la Ciencia Occidental (Colucci-Gray, Perazzone, Dodman y Camino, 2013). Se necesita en general cierta convergencia entre la formación de la competencia de investigación para la sostenibilidad y la resolución de problemas ligados al desarrollo sostenible, lo cual se debe de potenciar en la educación superior (Wiek, Withycombe y Redman, 2011).

En Europa, el debate que existe en las universidades sobre la sostenibilidad y las competencias en ella, es amplio y complejo y la implementación del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) ha conducido al menos a las universidades europeas a trabajar en la sostenibilidad por competencias genéricas y específicas (Albareda y Gonzalvo, 2013). Una forma de abordar la formación universitaria en esta dirección es examinar el desarrollo de competencias así: las cognitivas relacionadas con el saber y vinculadas con la comprensión crítica de la problemática ambiental global y local; las competencias metodológicas, relacionadas con el saber hacer, la adquisición de habilidades, estrategias, técnicas y procedimientos para la toma de decisiones y la realización de acciones relacionadas con el medio ambiente y el desarrollo sostenible y ; las competencias actitudinales relacionadas con el saber ser y valorar, es decir, las actitudes y valores de sostenibilidad (UII, Aznar, Martínez, Palacios y Piñero, 2009).

186

La formación universitaria para la sostenibilidad necesita de la integración de diversos enfoques, los cuales facilitan el ofrecerle una perspectiva desde lo sostenible al proceso formativo del profesional y en la literatura revisada (Febles y Betancourt, 2008 apud Semberoiz, 2007), (Machín, Concepción, Rodríguez y Riverón, 2012) y (Ruiz, García y Lima, 2014), se encuentran los que siguen: 1) *Enfoque basado en un pensamiento integrador*; 2) *Enfoque interdisciplinario*; 3) *Enfoque problematizador*; 4) *Enfoque cooperativo y dialógico*; 5) *Enfoque constructivo de los valores*; 5) *Enfoque de compromiso y de acción*; 6) *Enfoque positivo de los conflictos*; 7) *Enfoque socio afectivo*; y 8) *Enfoque multicultural*.

Actualmente hay un abismo creciente entre la realidad de la sociedad del siglo XXI, que está basada en la ciencia, la tecnología, la economía y avances en el desarrollo de capacidades en sistemas de comunicación sofisticados, conectados por redes de computadoras y la respuesta de los diversos sistemas de educación multisectoriales y mundiales (Zoller, 2013). O sea, que las organizaciones educativas no dan la respuesta necesaria a las demandas que actualmente plantea la sociedad en su conjunto, lo que se

manifiesta como una contradicción externa generadora de toda una diversidad de problemas de investigación que podrían ser formulados. Conviene reiterar que la inclusión de la sostenibilidad en las aulas universitarias no es posible si los docentes no trabajan en ellas desde perspectivas sostenibles (García, Jiménez, Navarrete y Azcárate, 2015).

En la Universidad Tecnológica de Chalmers J. Holmberg y colaboradores, en su estrategia para alcanzar el cambio hacia la sostenibilidad, proponen tres líneas diferentes de actividades en su proyecto de Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS): 1) el trabajo para mejorar la calidad de los cursos obligatorios sobre desarrollo sustentable; 2) los esfuerzos por integrar EDS en los programas educativos; y 3) El trabajo para coleccionar y extender la información sobre las buenas prácticas de la enseñanza dentro de la EDS (Holmberg, Lundqvist, Svanström y Arehag, 2012).

#### 4. INGENIERÍA Y FORMACIÓN PARA LA SOSTENIBILIDAD

Es en los periodos históricos identificados como Segunda y Tercera Revolución Industrial<sup>2</sup>, en los que hay una verdadera explosión en la aparición de nuevas ramas tecnológicas, tales como la eléctrica, la electrónica, las telecomunicaciones, la industrial, la geología, la de materiales, la informática, la robótica, la automática, la biotecnología, la aeronáutica, la cosmonáutica, la biomédica y otras, que dan origen a las profesiones de ingeniería existentes hoy. En las últimas cinco décadas, la intensidad y la escala de las intervenciones tecnológicas en los sistemas naturales, culturales y sociales han crecido exponencialmente (Colucci-Gray, Perazzone, Dodman y Camino, 2013), por lo que es de esperar el nacimiento de nuevas profesiones ingenieriles.

<sup>2</sup> Se reconocen tres fases en el desarrollo del capitalismo industrial financiero o de la Revolución Industrial. La primera (1750 – 1880) con epicentro en Inglaterra, le caracteriza el empleo del carbón como combustible fósil, el aprovechamiento y uso extensivo del hierro y del sistema termodinámico máquina de vapor. En la segunda (1880 - 1945), con Alemania a la vanguardia, se da la incorporación del petróleo y la electricidad como portadores energéticos, el empleo a gran escala del acero como sustituto del hierro fundido y de grandes inventos en la conversión energética, como el motor – generador trifásico de inducción eléctrica y los motores de combustión interna ciclos Otto y Diesel y el aprovechamiento del agua con fines hidroeléctricos, y la tercera (1945 – hasta el presente), con los EEUU como principal centro del capitalismo mundial, en la que se incorpora a los anteriores combustibles fósiles, el consumo masivo del gas. Además, se introduce la electroenergética mediante la fisión nuclear, el motor a reacción, el aprovechamiento masivo de la energía hidroeléctrica y de otras fuentes renovables, y se acelera el desarrollo tecnológico para el empleo de la energía y la obtención de nuevos materiales. Se revolucionan las telecomunicaciones y el conocimiento científico gana una importancia nunca vista en la historia.

Encuentran ocupación los ingenieros en industrias, servicios públicos, sistemas empresariales, consultorías, asesorías gubernamentales en sus distintos escalones, la investigación de tecnologías, el desarrollo de productos, el diseño, la manufacturación, así como en la comercialización de producciones. En el ejercicio de esta, con especial énfasis en la etapa inicial del diseño, se manifiesta el carácter transformador de la tecnología. Según el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de la República Argentina (Giuliano, 2014):

Ingeniería es la profesión en la que el conocimiento de las ciencias matemáticas y naturales adquiridas mediante el estudio, la experiencia y la práctica, se emplea con buen juicio a fin de desarrollar modos en que se puedan utilizar, de manera óptima, los materiales y las fuerzas de la naturaleza en beneficio de la humanidad, en el contexto de restricciones éticas, físicas, económicas, ambientales, humanas, políticas, legales y culturales.

Definición que destaca el hecho ampliamente conocido de que para las ingenierías, es importante el conocimiento de las ciencias matemáticas y naturales, así como su modo de adquisición, las cuales son disciplinas que están consideradas dentro de la formación básica de todas las ramas de la profesión. También hace énfasis en las funciones de la tecnología, examinada esta no con la visión rudimentaria de ciencia aplicada, sino desde la apreciación de la interacción de lo científico y lo tecnológico (Ferreira, Vilches, y Gil, 2012), es decir, la ciencia como condicionante del desarrollo de la tecnología, y viceversa, los progresos tecnológicos como potenciadores de los avances científicos.

188

La Convención Mundial de Ingenieros (CMI) efectuada en Shanghái año 2004, refrendó la idea de que por el papel central que tiene este profesional como actor en los procesos productivos y de servicios, así como en la inserción de las tecnologías en estos, ocupa un lugar importante en la labor a favor de la sostenibilidad, y esta como principio debe estar presente en su modo de actuar, por lo que se aprecia que los vocablos ingeniería, tecnología y sostenibilidad, están cada vez más ligados a través de la ética (CMI, 2004). Esta convención aprobó una proclama, denominada “Declaración de Shanghái sobre ingeniería y el futuro sostenible”, la cual destacó los puntos que siguen: 1) *El desafío. La situación crítica de la sostenibilidad*; 2) *La misión de la comunidad de ingeniería*; 3) *Responsabilidad y compromiso con la sostenibilidad de los ingenieros*; 4) *Ética y códigos de conducta para los ingenieros*; 5) *Interdisciplinariedad en la labor profesional de los ingenieros* y 6) *Educación y generación de capacidades entre los ingenieros para la sostenibilidad*.

Para la sostenibilidad del desarrollo, la importancia de la ingeniería radica en la función mediadora de la tecnología en la interacción hombre – medio ambiente, lo que permite a través de ella redefinir la relación contra-

dictoria sociedad – naturaleza, y si se acepta el desarrollo sostenible como el instrumento que sirve de eslabón mediador – integrador de este antagonismo, aparece la necesidad de preparar a todos los actores en los principios de la sostenibilidad, y en especial, a los encargados de la tecnología, los ingenieros. La ingeniería, que es todo un conjunto de profesiones, está íntimamente interconectada con la tecnología, pues los ingenieros son quienes se encargan de desarrollar, implementar o adaptar el progreso tecnológico, el cual facilita la potenciación del desarrollo sostenible.

Algunas carreras de ingeniería obedecen a un paradigma energético en sus perfiles ocupacionales, otras se inclinan más hacia los materiales y su transformación. Pero para todas las profesiones ingenieriles sea del tipo energético o no, el estudio de la energía y su empleo sostenible resulta trascendente, por lo que el enfoque de sostenibilidad energética manifiesta un relieve especial cuando se trata de las profesiones ingenieriles (Machín y Torres, 2015). Las facultades de ingeniería deben estar comprometidas con la sostenibilidad, porque ello es parte integrante de su compromiso social, lo cual se manifiesta en la interrelación de dos importantes conceptos, responsabilidad social universitaria y desarrollo sustentable (Núñez, 2013).

Las universidades técnicas y facultades de ingeniería tienen la responsabilidad de formar a sus futuros egresados con una perspectiva de sostenibilidad en su actuación profesional, lo que desborda la tradicional formación técnica de los recursos humanos altamente calificados (Díaz, 2015). Ello se puede hacer desde el propio contenido del currículo hasta con la introducción de asignaturas y disciplinas propias de la sostenibilidad, así como a partir de cualquier tipo de actividad docente, sea una conferencia, clase práctica, seminario o taller, o muy en especial en una práctica de laboratorio (Braun, 2010) y (Torres, García, Castro y Villanueva, 2010). En estas, se deben priorizar las investigaciones en áreas tales como: la educación ambiental, la introducción de los enfoques de sostenibilidad en todos los sectores de la sociedad y la economía, la mitigación de la contaminación y otros impactos ambientales del sector productivo y el desarrollo local, entre otros (Ruiz, 2014).

## 5. METODOLOGÍA. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En la investigación se utilizó como método la revisión sistemática, porque esta proporciona el conocimiento de un área específica, destaca lo conocido en relación con un contenido determinado obtenido en diferentes estudios y facilita así el ofrecer recomendaciones para la práctica e investigación futura (Rosario y otros, 2014 apud Grant y Booth, 2009; Higgins y Green, 2011). Además, mediante el método lógico histórico se estudió la

evolución de la concepción de sostenibilidad en las últimas tres décadas, para luego someter a análisis la aplicación de este enfoque en los procesos académicos de formación en ingeniería y luego derivar por vía inductiva–deductiva, la sistematización de esta posición teórica en la enseñanza de las ciencias básicas para la formación de ingenieros.

Se abordó el problema de investigación referente a ¿cómo favorecer la formación para la sostenibilidad en ingeniería desde la enseñanza de las ciencias básicas?, el cual queda enmarcado dentro del objeto de estudio enseñanza–aprendizaje de las ciencias, mientras el campo de investigación se concretó en los procedimientos para el favorecimiento de la formación para la sostenibilidad, o en educación en ciencia de la sostenibilidad desde el tratamiento didáctico de estas ciencias, consideradas como básicas en la formación de ingenieros. El objetivo de la investigación se orientó hacia la construcción de sistematizaciones teóricas sobre la inclusión de la sostenibilidad en los currículos de estas disciplinas y asignaturas, que orienten a los docentes que las enseñan sobre qué hacer y cómo hacerlo.

El estudio de la inclusión de la concepción de la sostenibilidad en el proceso de enseñanza aprendizaje de las ciencias básicas (Física, Química y Matemáticas), para los estudiantes de las ingenierías Mecánica, Civil, Industrial, Informática y Agronomía de la Universidad de Holguín, ha sido acometida por los autores de este trabajo en el marco del proyecto de investigación “Universidad Sostenibilidad”. Este se orienta a la determinación de las vías más efectivas de formar a los futuros ingenieros para el reto del desarrollo sostenible en sus dimensiones ambiental, social, económica y tecnológica, por lo que en esta dirección se ha realizado una amplia revisión bibliográfica, impartido conferencias de orientación, dirigido trabajos de diplomas, tesis de maestría y tesis de doctorado, así como se ha observado la contribución de las mencionadas disciplinas al proceso estudiado y evaluado sus potencialidades. En el proyecto, también se acometen las propuestas de impartición de asignaturas propias de la sostenibilidad, pero ello no es objeto de este trabajo.

Es necesario precisar que el enfoque de sostenibilidad para la formación de ingenieros consiste en un tratamiento con visión constructiva, crítica y transformadora de los problemas profesionales ligados al desarrollo, en los que tiene una particular incidencia la tecnología, y presentes en ellos las dimensiones ambiental, social y económica de los procesos productivos o de servicios, que integran las esferas de actuación profesional de las diferentes especialidades de ingeniería (Machín, Concepción, Rodríguez y Riverón, 2012). De ello se ocupa la educación para la sostenibilidad, en la cual para las ingenierías una importancia capital tienen las ciencias naturales

y exactas, ya que la enseñanza de estas constituye un vehículo privilegiado para permitir que los futuros ciudadanos se integren en una sociedad cada vez más tecnificada (Prieto, España y Martín, 2012).

## 6. RESULTADOS. LAS CIENCIAS BÁSICAS Y LA FORMACIÓN DEL INGENIERO PARA LA SOSTENIBILIDAD

A través de la enseñanza de la Física llegan a los estudiantes de ingeniería las conceptualizaciones energéticas iniciales y en particular, las definiciones de una serie de variables ligadas a los sistemas energéticos y ambientales, tales como temperatura, presión, velocidad, gasto, flujo calorífico, trabajo, calor, energía, entropía, intensidad de corriente, voltaje, energía de radiación, entre otras. Pero además, desde esta ciencia básica encuentran los futuros ingenieros por primera vez los fundamentos de la Termodinámica, la cual permite explicar desde una concepción energética la interacción de sistemas transformativos de energía con el ambiente, sean estos tecnológicos, biológicos, económicos o sociales. Resultan de interés para la sostenibilidad los conceptos físicos que llevados a la enseñanza van desde el análisis de sistemas energéticos al de sistemas físicos complejos (Gonella y Spagnolo, 2013).

Hoy se debe enseñar Física para cultivar al hombre del mañana, así como para que los estudiantes de ingeniería comprendan e interioricen que el movimiento mecánico, los sistemas moleculares y termodinámicos, la electricidad y el magnetismo, los fenómenos ópticos y el uso pacífico de la energía nuclear tendrán sentido para la humanidad solo si están en función de superar la crisis medioambiental (Rodríguez, 2012). Pero también es de utilidad la enseñanza de la Física a través del empleo de tecnologías apropiadas al contexto local visto desde la cultura de la localidad, las tradiciones, disponibilidad de recursos y limitaciones ambientales (Pearce, 2007).

Es ocupación de la Física como ciencia el estudio de la materia (sustancia y radiación) y sus formas físicas de movimiento: mecánico, térmico, electromagnético y cuántico, que son los tipos o maneras más simples y generales, y que están asociadas a las diferentes manifestaciones energéticas, las cuales también son objeto de esta ciencia, y ello se da porque el concepto energía expresa como magnitud que es, la medida cuantitativa del movimiento de la materia. Movimiento y energía son conceptos intrínsecamente ligados y en la concepción de sostenibilidad tienen tendencias de centralidad por el papel que juegan. Es un hecho aceptado en la Física Teórica, el carácter entrópico y cibernético de los sistemas termodinámicos, por lo que los conceptos físicos de energía y entropía, así como el principio que los interrelaciona que se expresa como Segunda Ley de la Termodinámica,

se asocian a la evolución ecosistémica en la naturaleza y están interrelacionados con lo sostenible, por lo que resultan ser el fundamento teórico de la Economía Ecológica.

El paradigma de la Economía Ecológica propuesto por N. G. Roegen es un ejemplo de la interacción de las ciencias naturales y las económicas. Este investigador en su obra “La Ley de la Entropía y los Procesos Económicos (1971)”, abordó esta temática desde un punto de vista físico, como la transformación inevitable de materiales de baja entropía (los recursos naturales) en los de alta entropía, o sea los residuos (Gómez y Díaz, 2013). Debe ser apreciado que en la entrada (input) de los sistemas socioecológicos hay energía de elevada calidad por su baja entropía, mientras que a la salida (output) se devuelve al medio ambiente energía de baja calidad por su elevada entropía (Fath, 2014). Si desde la Física se define la sostenibilidad, deben ser tomados como puntos de partida las definiciones de energía y entropía (Hermanowicz, 2005), por lo que en la enseñanza de la Física para las ingenierías la sostenibilidad de los sistemas y el crecimiento entrópico deben ser apreciados como conceptos muy ligados entre sí. Además, los sistemas auto organizados son necesariamente desorganizadores del entorno y, la insostenibilidad del modelo socio productivo predominante puede verse como el resultado del incremento de la entropía generada por procesos productivos demasiado grandes o demasiado intensivos (García, 2007). Desde esta visión, la ley de crecimiento de la entropía proporciona una definición de sostenibilidad.

192

La relación objeto-sujeto a través del instrumento de medición, que es una cuestión esencial en el plano gnoseológico para la Mecánica Cuántica, adquiere una revelación de primer orden con el principio de incertidumbre de Heisenberg. Ello ofrece el fundamento físico a la concepción del indeterminismo mecano-cuántico, así como al enfoque probabilístico de las leyes del micromundo, todo ello de significativo alcance filosófico. Ideas que han sido extendidas a otros campos científicos, como la ciencia de la sostenibilidad y entre los cruciales problemas confrontados por la humanidad con el desarrollo sostenible, que facilita la enseñanza de la Física llevar a los estudiantes de ingeniería, están los relacionados con la energía, los materiales, la radiación y la alteración de las propiedades físicas de los entornos como la temperatura (calentamiento global), la presión (alteración de la circulación general de la atmósfera y los océanos), nivel de radiación, concentración de sustancias y otras. Debe observar el lector que alterar un ecosistema o hacerlo menos perdurable, es en esencia transformarlo mediante la modificación de sus propiedades físico-químicas y bioquímicas. En esta dirección deberán valorar las potencialidades de investigación de la Física en el desarrollo de nuevas fuentes energéticas compatibles con el medio ambiente, las cuales abren nuevas posibilidades tecnológicas y sociales (Ostapenko, 2016).

Los principales problemas que contribuyen al deterioro del medio ambiente se relacionan con la Química de una forma u otra, pues los contaminantes producidos en gran escala por el hombre, son sustancias químicas conocidas, formadas en los procesos industriales o domésticos (Torres y Castro, 2005). La enseñanza de la Química debe transmitir a los estudiantes la idea del director general de la UNESCO, Koïchiro Matsuura, de que esta ciencia “desempeñará un papel muy importante en el desarrollo de las fuentes alternativas de energía y la alimentación de la creciente población mundial” (Vilches y Gil, 2013). Expresan estos autores que en la ciencia de la sostenibilidad, en la que se integran contribuciones procedentes de los más diversos campos científicos, se incluyen la denominada Química Verde y la Educación Química para el desarrollo sostenible.

La enseñanza de la Química Universitaria en la denominada Química Verde (Fernandes, Leal, Corio y Fernández, 2013), es una manera de concebir esta disciplina científica de una forma más socialmente responsable, más compatible con el medio ambiente así como con la salud de las personas, es decir, adecuarla a la concepción de sostenibilidad del desarrollo y la misma debe ser sustentada sobre la base del sistema de principios, el cual se denomina sistema de principios para la enseñanza de la Química Verde (Mascarell y Vilches, 2016), (González, 3 y Figueroa, 2016). Aceptarlos, es optar por una química cuyos productos y procesos buscan alcanzar un mundo en un equilibrio ambientalmente vivible, socialmente viable, económicamente redituable, energéticamente deseable y éticamente aceptable (Doria y Miranda, 2013).

Para la enseñanza de la Química en función de la sostenibilidad y el medioambiente se sugiere el planteamiento de problemas relativos al mundo real, cuya resolución por el estudiante le obligue a emplear las habilidades cognitivas de orden superior, a diferencia de las habilidades cognitivas de bajo orden que conllevan el empleo de algoritmos relativamente sencillos (Zoller, 2013). De esta manera, según el citado autor, pueden ser planteadas tareas teórico-experimentales relativas a contaminación mediante sustancias químicas de aguas, aire o suelos, en las que los alumnos determinen los componentes sustanciales contaminantes, valoren riesgos o determinen experimentalmente concentraciones de iones presentes en la contaminación.

En las universidades se forman licenciados e ingenieros en el campo de la química y la participación de químicos en el área colaborativa de la ciencia de la sostenibilidad es indispensable para el desarrollo de estrategias sostenibles al abordar los complejos problemas globales. Para ello, deben ser entrenados estos profesionales con la finalidad de que comprendan cómo sus decisiones afectan la sostenibilidad, por lo que deben internalizar una

orientación a lo sostenible permeada de información relativa a todo lo que ellos harán en sus vidas profesionales, por lo que se necesitan esfuerzos para poner al día los planes de estudios (Lozano y Watson, 2013).

La enseñanza de la Matemática como parte de la formación básica del ingeniero puede ponerse en función de la sostenibilidad, pues todos los problemas físico-químicos que afectan al medio ambiente son modelables mediante las Matemáticas. Cualquier sistema físico - químico evaluable desde la Termodinámica por las transferencias energéticas y sustanciales que se verifiquen es representable por ecuaciones matemáticas y un caso muy especial por su generalidad son los sistemas transformativos energéticos de carácter disipativos expresables mediante modelos matemáticos, en los cuales están los fundamentos de la insostenibilidad ambiental que afronta la humanidad. También puede ser apreciado la aplicación en investigaciones sobre sostenibilidad de los métodos estadísticos, así como del Álgebra Lineal, el Cálculo Diferencial e Integral, la Teoría de las Ecuaciones Diferenciales y sus métodos de resolución, el análisis numérico, los mínimos cuadrados ordinarios, los mínimos cuadrados generales o mínimos variacionales, así como los métodos computacionales como la utilización de softwares estadísticos para la estimación de modelos.

194

Los problemas de máximos y mínimos, tan comunes en los sistemas de conversión energética, son evaluables desde las Matemáticas. La optimización de sistemas de transferencia energética tiene su expresión en la optimización lineal, y la utilización de las formas geométricas de los sistemas físicos-ingenieriles para el aprovechamiento de la energía y la luz, es un hecho y a la vez un método de trabajo de la ingeniería. La enseñanza de la Matemática para los futuros ingenieros debe destacar, que dada la complejidad para la evaluación de la sostenibilidad, se trata como tendencia de agrupar los datos en filas y columnas, lo que sugiere la aplicación de las matrices como recurso algebraico y por tanto, los procedimientos matriciales se constituyen en herramientas para este proceso evaluativo. También están los procedimientos lógicos difusos, ya que la implementación de la lógica difusa facilita el diseño de modelos donde la incertidumbre, la vaguedad y la multidimensionalidad están presentes en la caracterización de las variables analizadas (García, Flores y Venegas, 2016), tal como ocurre con las magnitudes ligadas a la sostenibilidad.

Del estudio realizado, los autores han concretado una sistematización teórica que se resume en la Tabla I, referida a los problemas de la sostenibilidad del desarrollo y el medio ambiente para abordar desde la formación en ciencias básicas con los estudiantes de ingeniería, ya que estos tienen una manifestación específica en la profesión y en cada ciencia en particular.

TABLA I

**Problemas de sostenibilidad desde las ciencias básicas para las ingenierías**

Objeto o problema de enseñanza en la ingeniería	Problema Físico	Problema Químico	Problema Matemático	Problema medio ambiental y de sostenibilidad
Energía. Transformaciones energéticas. Elevación de la eficiencia energética	Sistemas energéticos disipativos. Mecánicos, electromagnéticos, termodinámicos y nucleares	Fuentes químicas de energía. La combustión. Baterías y acumuladores desde las electro-líticas a las de cadmio y litio.	Optimización de sistemas. Modelación matemática. Ecuaciones diferenciales	Generación energética. Contaminación ambiental. Efecto invernadero. Cambio climático. Insostenibilidad social y económica de los modelos energéticos prevaletentes. La economía ecológica como respuesta
Los materiales y sus propiedades. Elevación de su calidad. Búsqueda de nuevos materiales.	Propiedades físicas de las sustancias y de los materiales de las ingenierías. Procesos de ingeniería con los materiales.	Propiedades químicas de las sustancias. Procesos químicos en los materiales en su interacción con el ambiente. Corrosión	Modelación matemática. Máximos y mínimos. Optimización lineal	La naturaleza como fuente de recursos y sumideros de desechos. Contaminación del aire, las aguas y del suelo. Problemas ambientales, sociales y económicos. Método de producciones más limpias, reutilización, reciclado y reducción, como respuesta.
La termodinámica y la termo – conversión energética. La eficiencia energética y la contaminación con los gases de la combustión	La entropía y la segunda ley de la termodinámica.	Crecimiento de la entropía y contaminación ambiental	Modelación matemática	Contaminación ambiental, potenciación del cambio climático, degradación ambiental en las naciones subdesarrolladas. Las energías renovables como respuesta
La radiación y la energética nuclear. La seguridad tecnológica	La interacción de la radiación nuclear con la sustancia. Generación de energía por fisión y fusión nuclear.	Aparición de elementos químicos y sustancias radiactivas	Modelación matemática	Contaminación radiactiva en caso de accidentes. Limitaciones de los países pobres de acceder a estas tecnologías. Socialización de la tecnología y elevación de la seguridad tecnológica.
La luz y el sonido. La iluminación y el ruido	El problema óptico geométrico y óptico ondulatorio, así como el acústico	Interacción de la luz con la sustancia a nivel molecular (fotoquímica)	Modelación matemática	Contaminación lumínica y contaminación sonora. La luminosidad de Norte América, Europa y Japón y la oscuridad del mundo del sur, vistas desde el espacio cósmico. Accesibilidad para todos de la energía.
Las energías renovables	La reducción del crecimiento entrópico	La no emisión de sustancias contaminantes en la generación energética.	Modelación matemática	Reducción del efecto invernadero. Mitigación del cambio climático. Generación de empleos

Fuente: elaboración propia.

## 7. CONCLUSIONES

Mediante el método lógico histórico y una revisión sistemática se analiza la evolución de la concepción de sostenibilidad, así como de la educación para la sostenibilidad, para luego someter al análisis y la síntesis la aplicación de este enfoque en los procesos académicos de formación de ingenieros, y en especial, desde la enseñanza de las ciencias básicas, las cuales brindan significativas potencialidades para favorecer la educación en ciencia de la sostenibilidad de los estudiantes de ingeniería.

El problema de la implementación de la sostenibilidad en la educación superior y en especial para las carreras de ingeniería, es de sumo interés, al cual se le presta una especial atención en las principales universidades del mundo y en el que participan miles de científicos e investigadores, con una producción creciente de publicaciones orientadas hacia tal fin. No obstante, los resultados esperados no se corresponden con el estado actual de desarrollo de la ciencia y la tecnología, por lo que se necesita elevar el contenido sociológico, pedagógico – didáctico y psicológico de la sostenibilidad en la práctica académica universitaria.

196

Tan prioritario y relevante como traer la concepción de sostenibilidad o de la Ciencia de la Sostenibilidad a la enseñanza de las ciencias básicas, es ir en el proceso inverso de los conceptos fundamentales de la Física y la Química modelados mediante las Matemáticas a definiciones de sostenibilidad, ya que el carácter integrativo de esta ciencia emergente facilita el llegar a sus conceptos esenciales desde diversas vías cognitivas. Cada problema que se plantea para el medio ambiente y el desarrollo, se refleja en las ingenierías y en cada ciencia básica, por lo que es posible sistematizar una interrelación a partir de las diferentes visiones que puedan ser ofrecidas.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albareda, S. y Gonzalvo, M. (2013). Competencias genéricas en sostenibilidad en la educación superior. Revisión y compilación. *Revista de Comunicación de la SEECI*. Noviembre. Año XV (32), 141-159. <http://dx.doi.org/10.15198/seeci.2013.32>.
- Azcárate, P., Navarrete, A. y García, E. (2012). Aproximación al nivel de inclusión de la sostenibilidad en los currículos universitarios. *Revista Profesorado*. vol. 16, Nº 2, pp. 105-119. Disponible en: <http://www.ugr.es/local/recfpro/rev162ART6.pdf>.
- Aznar, P., Ull, M.A., Piñero, A. y Martínez A, M. P. (2014). La sostenibilidad en la formación universitaria: Desafíos y oportunidades. *Educación XXI*, 17(1), 133-158. <http://dx.doi.org/10.5944/educxx1.17.1.107>

- Bravo, O. y Payares, L. (2012). "El desarrollo sostenible desde la termodinámica no lineal". *Revista Multiciencias*, vol. 12, nº extraordinario, pp. 94-99.
- Braun, D. (2010). Teaching Sustainability Analysis in Electrical Engineering Laboratory Courses. *IEEE Transactions on Education*, vol. 53(2), pp. 243-247
- Cárdenas, C. y Ribot, E. (2007). "Hacia la educación bioética de los estudiantes de las carreras pedagógicas". Varona, *Revista Científico-Metodológica*, vol. 44, pp. 25-33. Universidad de Ciencias Pedagógicas. La Habana. Disponible en: <http://bives.mes.edu.cu/>.
- Convención Mundial de Ingenieros (CMI). (2004). "Los Ingenieros dan Forma al Futuro Sostenible". Declaración de Shanghai. Shanghai, China. Noviembre, 6 al 8, de 2004. Disponible en: [http://www.upadi.org.br/n\\_shangai.html](http://www.upadi.org.br/n_shangai.html).
- Colucci-Gray, L.; Perazzone, A.; Dodman, M. y Camino, E. (2013). "Science education for sustainability, epistemological reflections and educational practices: from natural sciences to trans-disciplinarity". *Cult Stud of Sci Educ* (2013)8:127-183. <http://dx.doi.org/10.1007/s11422-012-9405-3>. <http://dx.doi.org/10.1108/14676371211242599>
- Dedeurwaerdere, T. (2013). Sustainability Science for Strong Sustainability [Informe de investigación al Ministerio de Desarrollo Sustentable del Gobierno de Bélgica]. Disponible en <http://scholar.google.com.ar/scholar>
- Díaz, J. A. (2015). La Dimensión de la Sostenibilidad en la Enseñanza de las Ingenierías en Cuba. *Foro de Educación*, 13(19), 241-262. doi: <http://dx.doi.org/10.14516/fde.2015.013.019.011>
- Doria, M. C. y Miranda, R. (2013). Química verde: Un tema de presente y futuro para la educación de la química. *Educ. quím.*, 24 (núm. extraord. 1), 94-95..
- Echeita, G. y NAVARRO, D. (2014). Educación inclusiva y desarrollo sostenible. Una llamada urgente a pensarlas juntas. *Edetania* 46 [Diciembre 2014], 141-161.
- Fath, B.D. (2014). Quantifying economic and ecological sustainability, *Ocean & Coastal Management*, XXX, pp. 1-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.06.020>
- Febles, M. y Betancourt, Y. (2008). "Acerca de la introducción de la dimensión ambiental en la educación universitaria". Memorias del VI Coloquio de Experiencias Educativas en el Contexto Universitario. Universidad de la Habana (UH). Asociación de Pedagogos de Cuba en la UH. 27 p. Disponible en: <http://bives.mes.edu.cu/>.
- Feinstein, N. W. y Kirchgasser, K. L. (2015). Sustainability in Science Education? How the Next Generation Science Standards Approach Sustainability, and Why It Matters. *Science Education*, vol. 99(1), pp. 121-144. <http://dx.doi.org/10.1002/sc.21137>
- Fernandes de Goes, L., Leal, S. E., Corio, P. y Fernández, C. (2013). Aspectos do conhecimento pedagógico do conteúdo de química verde em professores universitários de química, *Educ. quím.*, 24 (Extraord.1), pp. 113-123.
- Ferreira, C., Vilches, A., y Gil, D. (2012). Concepciones docentes acerca de la naturaleza de la tecnología y de las relaciones Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente en la educación tecnológica. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 30 (2), pp. 197-218.
- Folke, C., Carpenter, S.R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T. y Rockström, J. (2010). Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society* 15(4): 20. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art20/>
- Gadotti, M. (2008). "What We Need to Learn to Save the Planet". *Journal of Education for Sustainable Development*, vol. 2(1), pp. 21-30. <http://dx.doi.org/10.1177/097340820800200108>

- García, M. L., Flores, L. y Venegas, B. A. (2016). Análisis del desarrollo sostenible en espacios locales. Aplicación de la teoría de conjuntos difusos. *Íconos. Revista de Ciencias Sociales*. vol. 54, Quito, enero 2016, pp. 171-195. <http://dx.doi.org/10.17141/iconos.54.2016.1454>
- García, E. (2007). Sostenibilidad y tecnología en el post-desarrollo. Versión en Español del artículo, “La technologie et les dilemmes de la décroissance”, en *Entropia-Revue d'Étude Théorique et Politique de la Décroissance*, n° 3, automne 2007, pp. 142-155.
- García, E., Jiménez, R., Navarrete, A. y Azcárate, P. (2015). La metodología docente como estrategia para promover la sostenibilidad en las aulas universitarias. Un estudio de caso en la Universidad de Cádiz. *Foro de Educación*, 13(19), pp. 85-124. doi: <http://dx.doi.org/10.14516/fde.2015.013.019.005>
- García, L. y Gutiérrez, V. (2014). Resiliencia tecnológica. *Revista Arte y políticas de identidad*. Vol 10-11 / Jul-Dic, pp. 135-154.
- Giuliano, H. G. (2014). “La teoría crítica de la tecnología: una aproximación desde la ingeniería”, *Revista Iberoamericana de Ciencia Tecnología y Sociedad - CTS*, vol. 8(24), pp. 65-76.
- Gómez, C. y Díaz, J. A. (2013). Origen del concepto desarrollo sostenible. Capítulo I del Libro: *Referencias para un análisis del desarrollo sostenible*. Coordinadores: Carlos Gómez Gutiérrez y Antonio Gómez Sal. Universidad de Alcalá, 2013.
- Gonella, F. y Spagnolo, S. (2013). Physics concepts in educational issues: from the energy systems analysis to the physics of complex systems Part I: *Energy. sciences at ca ' foscari*, pp. 78-86.
- González., P., J., Pérez, C. y Figueroa, S. (2016). La enseñanza de la química desde la perspectiva de la química verde. *Revista Científica*, 24, pp. 24-40. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2016.24.a.3>
- Gutiérrez, J. (2012). Condiciones óptimas para una ciencia de la sostenibilidad: Implicaciones sustantivas para la investigación educativa y socioambiental contemporánea. *Revista Educ. Públ. Cuiabá*, v. 21, n. 47, p. 571-596,
- Hermanowicz, S.W. (2005). “Entropy and Energy: Toward a Definition of Physical Sustainability”. UCR. Library. Disponible en <https://escholarship.org/uc/item/2f01968r>.
- Holmberg, J., Lundqvist, U., Svanström, M. y Arehag, M. (2012). The University and Transformation Towards Sustainability - the strategy used at Chalmers University of Technology. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 13(3), pp 219-231: <http://dx.doi.org/10.1108/14676371211242544>
- Kajikawa, Y. (2008). Research core and framework of sustainability science. *Sustainability Science Journal*, 3, 215–239. <http://dx.doi.org/10.1007/s11625-008-0053-1>
- Kammerbauer, J. (2001). “Las dimensiones de la sostenibilidad: Fundamentos ecológicos, modelos paradigmáticos y senderos”. *Revista Interciencia - INCI*, vol. 26(8), pp. 353 – 359.
- Kates, R W. y otros (2001). *Science* 27 Apr 2001: Vol. 292, Issue 5517, pp. 641-642. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1059386>
- Komiyama, H. y Takeuchi, K. (2006). Sustainability science: building a new discipline. *Sustainability Science Journal*, 1(1), 1-6. <http://dx.doi.org/10.1007/s11625-006-0007-4>
- Lang, D. J., Wiek, A., Bergmann, M., Stauffacher, M., Martens, P., Moll, P., Swilling, M. y Thoma, C. J. (2012). Transdisciplinary research in sustainability science: practice, principles,

- and challenges. *Sustainability Science Journal*, 7, 25-43. <http://dx.doi.org/10.1007/s11625-011-0149-x>
- Lozano, R. (2011). The state of sustainability reporting in universities. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, vol. 12(1), pp. 67-78. <http://dx.doi.org/10.1108/14676371111098311>
- Lozano, R. y Watson, M. K. (2013). Chemistry Education for Sustainability: Assessing the chemistry curricula at Cardiff University. *Educ. quím.*, 24(2), 184-192. [http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72461-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72461-3)
- Luffiego, M. y Rabadán, J. M. (2000). La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 18(3), 473-486
- Machín, F.O., Fernández, E., González, F. y Bárcenas, S. L. (2014). "Interacción sociedad naturaleza y enfoque de sostenibilidad". *M+A. Revista Electrónica de Medio Ambiente*, vol. 15(2), pp. 13-27. [http://dx.doi.org/10.5209/rev\\_MARE](http://dx.doi.org/10.5209/rev_MARE)
- Machín, F.O., Concepción, M. R., Rodríguez, F. de la T., Riverón, A. N. (2012). La sostenibilidad como enfoque para la formación de los ingenieros en el siglo XXI. *Revista Pedagogía Universitaria*, vol. XVII, núm. 2, pp.71-90.
- Machín, F. O. y Riverón, A. N. (2013). *Sostenibilidad del desarrollo y formación de ingenieros*. La Habana: Editorial Universitaria.
- Machín, F. O y Torres, R. M. (2015). Enfoque de sostenibilidad para el problema profesional electroenergético en las carreras de ingeniería. *Revista Congreso Universidad*, vol. IV, núm. 3, pp. 78-94.
- Martín, C.; Prieto, T. Y. y Jiménez, M<sup>a</sup> Á. (2013). Algunas creencias del profesorado de ciencias en formación sobre la enseñanza de la problemática de la energía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 10* (núm. extraordinario), 649-663. <http://dx.doi.org/10498/15619>
- Mascarell, L y Vilches, A, (2016). Química Verde y Sostenibilidad en la educación en ciencias en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(2), pp. 25-42. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1688>
- Mateo, J. M. (2008). *Los caminos para el cambio. La incorporación de la sustentabilidad ambiental para el cambio. La incorporación de la sustentabilidad ambiental al proceso de desarrollo*. p. 130, apud Sachs, 1993. Editorial Universitaria del MES. La Habana, Disponible en: <http://site.ebrary.com/lib/vepingsp/docDetail.action?>
- Núñez J., J. (2013). Responsabilidad social universitaria y desarrollo sustentable. *UCE Ciencia. Revista de postgrado*, vol. 1(1).
- Olsson, P., Galaz, V. y Boonstra, W. J. (2014). Sustainability transformations: a resilience perspective. *Ecology and Society* 19(4). <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06799-190401>.
- Orudzhev, Z. M. (1978). La dialéctica como sistema, La Habana, Editorial Ciencias Sociales, pág. 183, 1978.
- Ostapenko, V. A. (2016). Physical Energetics of Photons and New Technical and Social Possibilities of Mankind. *OSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, vol. 06, issue 08 (Aug. 2016), II-VII pp. 12-20
- Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, vol. 325, pp. 419-422. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1172133>

- Pearce, J. M. (2007). Teaching Physics Using Appropriate Technology Projects. *The Physics Teacher*, vol. 45, pp. 654-657. <http://dx.doi.org/10.1119/1.2709675>
- Pérez, J. I. (2003). “Energía y Desarrollo Sostenible”. Discurso de ingreso en la Real Academia de Ingeniería de España, p. 13. Disponible en: <http://www.real-academia-de-ingenieria.org/ActosPublicos/>
- Prieto, T., España, E. y Martín, C. (2012). Algunas cuestiones relevantes en la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 9(1), 71-77. doi: 10498/14625 <http://hdl.handle.net/10498/14625>
- Pol, E. y Castrechini, A. (2013). ¿Disrupción en la educación para la sostenibilidad?, *Revista Latinoamericana de Psicología*, vol 45(3), pp. 333-347. <http://dx.doi.org/10.14349/rlp.v45i3.1477>
- Raven, P. (2002). Science, sustainability, and the human prospect. *Science Journal*, 297, 954 – 958. <http://dx.doi.org/10.1126/science.297.5583.954>
- Redman, Ch. L. (2014). Should sustainability and resilience be combined or remain distinct pursuits?, *Ecology and Society* 19(2), p. 37. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06390-190237>
- Rodríguez, I. de la C. (2012). La educación ambiental en la enseñanza de la Física. Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas. No. 11, Vol. 5, pp. 1-5. Disponible en: <http://publicaciones.uci.cu/index.php/SC> Consultado el 19 de enero de 2016
- Rosário, P.; Pereira, A.; Högemann, J.; Nunes, A. R.; Figueiredo, M.; Núñez, J.C; Fernández, E.; Fuentes, S. y Gaeta, M. L. (2014). Autorregulación del aprendizaje: una revisión sistemática en revistas de la base SciELO. *Universitas Psychologica*, 13(2), 781-798. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.UPSY13-2.aars>
- Ruiz, G. L. (2014). La dimensión ambiental como componente de la educación superior, la ciencia y la tecnología en Cuba, *Revista de la Escuela de Ciencias de la Educación*, año 10, número 9, enero a diciembre, pp. 83-96.
- Ruiz, L; García, D y Lima, L. (2014). Consideraciones sobre indicadores de desarrollo sostenible en las universidades. Cuadernos del Contrato Social por la Educación N° 10 | Junio | Contrato Social por la Educación | Ecuador, pp. 88- 100.
- Salas, W. A y Ríos, L. A. (2013). Ciencia de la sostenibilidad, sus características metodológicas y alcances en procesos de toma de decisiones. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol.4 (1), pp. 101 -111.
- Seager, T. P. (2008). The Sustainability Spectrum and the Sciences of Sustainability. *Business Strategy and the Environment*. Bus. Strat. Env. 17, 444-453. <http://dx.doi.org/10.1002/bse.632>
- Segalás, J. (2004). *La Educación del Desarrollo Sostenible en la Ingeniería: Dificultades a Vencer en el Diseño del Nuevo Espacio Europeo de la Educación Superior*. Disponible en: <http://www.ideasostenible.net>.
- Segalás, J., Mulder, K.F. y Ferrer-Balas, D. (2012). What do EESD “experts” think sustainability is? Which pedagogy is suitable to learn it?, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, vol. 13(3), pp. 293-304, <http://dx.doi.org/10.1108/14676371211242599>
- Shephard, K. (2008). Higher education for sustainability: seeking affective learning outcomes. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, vol. 9(1), pp. 87-98. <http://dx.doi.org/10.1108/14676370810842201>

- Sibbel, A. (2009). Pathways towards sustainability through higher education. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, vol. 10(1), pp. 68-82. <http://dx.doi.org/10.1108/14676370910925262>
- Scholz, R. W., Lang, D. J., Wiek, A., Walter, A. I. y Stauffacher, M. (2006). Transdisciplinary case studies as a means of sustainability learning. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, vol. 7(3), pp. 226-251. <https://doi.org/10.1108/14676370610677829>
- Schoolman, E. D., Guest, J. S., Bush, K. F. y Bell, A. R. (2011). How interdisciplinary is sustainability research? Analyzing the structure of an emerging scientific field. *Sustainability Science Journal*, 7(1), 67-80. <http://dx.doi.org/10.1007/s11625-011-0139-z>
- Tamura, M. y Uegaki, T. (2012). Development of an educational model for sustainability science: challenges in the Mind-Skills-Knowledge education at Ibaraki University. *Sustain Sci*, 7, pp. 253-265. <http://dx.doi.org/10.1007/s11625-011-0156-y>
- Torres, D. y Castro, M. T. (2005). Una contribución a la formación medio ambiental en Química General. *Revista Pedagogía Universitaria*, vol. X(4), pp. 101-110. La Habana, Cuba. Disponible en: <http://cvi.mes.edu.cu/peduniv/2006-07/vol.-x-no.-4-2005>.
- Torres, D., García, G., Castro, M. T y Villanueva, M. (2010). "El laboratorio de Química y la formación medio ambiental". VII Taller "Universidad, Medio Ambiente, Energía y Desarrollo Sostenible". Universidad 2010. Evento Provincial. Ciudad de la Habana. Editorial Universitaria, pp. 93-103. Disponible en: <http://bives.mes.edu.cu/>.
- Ull, M., Aznar, P., Martínez, M., Palacios, B. y Piñero, A. (2009). Competencias para la sostenibilidad y currícula universitarios. *Enseñanza de las Ciencias*, núm extra. VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp. 2964-2967. <http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-2964-2967.pdf>
- Vilches, A. y Gil, D. (2013). Ciencia de la sostenibilidad: Un nuevo campo de conocimientos al que la química y la educación química están contribuyendo. *Educ. quím.*, 24(2), 199-206.
- Vilches, A y Gil, D. (2014). Ciencia de la Sostenibilidad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 11(3), pp.436-438, doi: 10498/16595 <http://hdl.handle.net/10498/16595>. <http://reuredc.uca.es>
- Vilches, A. y Gil, D. (2015). Ciencia de la Sostenibilidad: ¿Una nueva disciplina o un nuevo enfoque para todas las disciplinas? *Revista Iberoamericana de Educación*, vol. 69(1), pp. 39-60. <http://rieoei.org/deloslectores/7025.pdf>
- Weeth F., N. y Kirchgasser, K. L. (2015). Sustainability in Science Education? How the Next Generation Science Standards Approach Sustainability, and Why It Matters. *Science Education*, vol. 99(1), pp. 121-144. <http://dx.doi.org/10.1002/sce.21137>
- White, L. A. (2005). "La energía y la evolución de la cultura", en: *Antropología. Lecturas*, P. Bohannman y M. Glazer, pp. 349-368. La Habana, Editorial Félix Varela.
- Wiek, A.; Farioli, F.; Fukushi, K. y Yarime, M. (2012). Sustainability science: bridging the gap between science and society. *Sustain Sci* 7 (Supplement 1), pp.1-4. <http://dx.doi.org/10.1007/s11625-011-0154-0>
- Wiek, A., Withycombe, L. y Redman, CH. (2011). Key competencies in sustainability: a reference framework for academic program development. *Sustain Sci*, 6, pp. 203-218. <http://dx.doi.org/10.1007/s11625-011-0132-6>

- Yarime, M., Takeda, Y. y Kajikawa, Y. (2010). Towards institutional analysis of sustainability science: a quantitative examination of the patterns of research collaboration. *Sustainability Science Journal*, 5, 115–125. <http://dx.doi.org/10.1007/s11625-009-0090-4>
- Yarime, M; Trencher, G; Mino, T; Scholz, R. W.; Olsson, L; Ness, B; Frantzeskaki, N y Rotmans, J. (2012). Establishing sustainability science in higher education institutions: towards an integration of academic development, institutionalization, and stakeholder collaborations. *Sustain Sci*, 7 (Supplement 1), pp.101–113. <http://dx.doi.org/10.1007/s11625-012-0157-5>
- Zoller, U. (2013). Science, Technology, Environment, Society (STES) Literacy for Sustainability: What Should it Take in Chem/Science Education?, *Educ. quím.*, 24 (2), pp. 207-214. Universidad Nacional Autónoma de México.