

# Desarrollo Sustentable, complejidad e ingeniería: simbiosis necesaria

Raiza Yánez<sup>1,4</sup>, Miguel A. Briceño<sup>2</sup>, Alfonso S. Alfonsi<sup>3,4</sup> y Janett Yánez<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería y Cs. Aplicadas, Dpto de Sistemas Industriales, Núcleo Anzoátegui, Universidad de Oriente,

<sup>2</sup>Instituto de Filosofía, Facultad de Humanidades y Educación, Universidad Central de Venezuela,

<sup>3</sup>Grupo de Investigación Arquitecturas de Sistemas de Control (GASC), Escuela de Ingeniería y Cs. Aplicadas, Núcleo Anzoátegui, Universidad de Oriente,

<sup>4</sup>Programa Sistemas Gestión de la Calidad, Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui

Correo electrónico: ryanezmar@gmail.com

**RESUMEN** La crisis socioambiental se agrava y complejiza cada vez más, a nivel global y local, dado la diversidad de factores involucrados, los modos de producción y consumo insostenible, el acelerado incremento de la demanda y la obsolescencia programada de los productos. Los riesgos actuales y potenciales de esta situación poseen dimensiones sin precedentes para la humanidad, incluso ponen en peligro la sobrevivencia de la especie humana en el planeta. En este sentido, la ingeniería, una de las profesiones más vinculada al desarrollo tecnológico y las actividades productivas, tiene la responsabilidad de actualizar sus fundamentos, para transitar el camino de la sostenibilidad. El presente trabajo pertenece al proyecto de investigación "Ingeniería Industrial desde la perspectiva del Desarrollo Sustentable y el Pensamiento Complejo (CI-03-020603-1691-11), y tiene como objetivo, estudiar los retos, escenarios y horizontes planteados por el Desarrollo Sustentable (DS) a la ingeniería en el siglo XXI e identificar las debilidades, brechas y vacíos de ésta en función de los requerimientos del DS. La investigación realizada es documental y de campo, basada en la teoría de la complejidad. Los resultados muestran diversos principios, técnicas y herramientas para la sostenibilidad en el ámbito de ingeniería. Se concluye (a) el DS no ha sido una prioridad para la ingeniería; (b) prevalece el enfoque estrictamente disciplinario (b) se propone abordar los problemas de insostenibilidad desde la perspectiva del pensamiento complejo, (c) se requiere fortalecer lo ético, ecológico y social en la formación del ingeniero.

**Palabras clave:** crisis socioambiental, consumo insustentable, riesgos actuales, desarrollo tecnológico, sobrevivencia.

## Introducción

Abordar la relación entre ingeniería y Desarrollo Sustentable (DS), no es nada fácil, pues es un tema controversial e incluso para algunos utópico, por el sinfín de interpretaciones, diversidad de vertientes e intereses involucrados, así como también de elementos interrelacionados. A su vez, considerar la ingeniería y sus elementos conexos como parte de la solución y del problema de la insostenibilidad, complejiza la situación, dado que las solu-

ciones técnicas en mayor o menor medida implican efectos que representan otros problemas a corto y/o largo plazo, mayormente obviados o minimizados, en nombre del avance tecnológico o la errada interpretación de desarrollo. En este sentido, como punto de partida es importante señalar la apreciación de ingeniería para el siglo XXI, del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) en el Congreso Mundial de Ingeniería del 2010.

*".....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.”*

Lo antes señalado destacan los vínculos entre la ingeniería y la sostenibilidad, así como también sirve de referencia para establecer los diversos retos implícitos para hacerlo realidad. En atención a lo antes expuesto, el presente trabajo tiene como objetivo identificar las debilidades y desafíos de la Ingeniería en función de los requerimientos del DS. En este sentido, se realizó una investigación documental de los referentes teóricos relacionados con esta temática, en la cual destacan los Principios de Hannover (MacDonough 2000), Declaración de Shangai “Ingeniería y Futuro Sostenible (2004), Principios Guía para la Ingeniería para el Desarrollo Sostenible de la Real Academia de Londres (2005) entre otros. Asimismo, se presentan las técnicas, estrategias y normativas que promueven opciones más respetuosas con la naturaleza, tales como la Ecoeficiencia, Producción más Limpia, Análisis del Ciclo de Vida, Ecodiseño y las Normas ISO entre otros.

## **Antecedentes: Propuestas y buenas intenciones**

El DS, es el resultado de muchos años de discusión sobre la necesidad de cambiar los modos de producción y consumo sostenible o no, siendo innumerables los eventos y pronunciamientos en los cuales se ha utilizado como tema emblemático en la convocatoria para unir esfuerzos en la defensa del ambiente, por lo que frecuentemente las dimensiones socioeconómicas y políticas implícitas en el tema, son poco aludidas. Asociado al punto anterior, Yáñez *et al.* (2012) señala que la insostenibilidad del desarrollo y sus consecuencias, tienen diversas aristas en la que convergen lo ambiental, social, económico, político, académico, empresarial, científico, legal y axiológico, entre otros, siendo por lo tanto un tema complejo que no se debe abordar con visión cortoplacista y de manera aislada.

Seguidamente se presentan, sin ser exhaustivos, los antecedentes internacionales más destacados en esta materia, destacándose entre ellos el Informe del Club de Roma (1971), en el cual se va-

ticinó el colapso ecológico en menos de 100 años, sino se tomaban las previsiones necesarias, al considerar el agotamiento de los recursos naturales de continuar el crecimiento ilimitado, que hasta ese momento era promovido como fuente de progreso, posteriormente la Conferencia de las Naciones Unidas en Estocolmo (1972) y el Informe Brundtland titulado “*Nuestro Futuro Común*” (1987), de la Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo, WCED por sus siglas en inglés (World Commission on Environment and Development), declara la urgencia de la toma de conciencia de la crisis planetaria, en este documento donde se acuña el término “*sustainable development*”, traducida como Desarrollo Sostenible o Desarrollo Sustentable, definiéndolo como aquel capaz de satisfacer las necesidades actuales sin poner en riesgo el futuro de las próximas generaciones de satisfacer sus propias necesidades, siendo esta definición, la base de las más diversas interpretaciones y definiciones.

Es evidente sin embargo, que el DS logra su difusión masiva en la *Cumbre o Conferencia de Río de Janeiro* en 1992, en la cual se generó la *Agenda 21* como documento guía para transitar el camino a la sostenibilidad, integrando lo social y ambiental al concepto de desarrollo, así como también destacando la importancia del fortalecimiento y la participación de los diferentes actores sociales en la instrumentación del mismo a nivel global, nacional y local. Más recientemente la Cumbre Mundial de Johannesburgo (2002, 2009), la Cumbre de los Pueblos (2012) y la Conferencia de Río+20, en el 2012, retoman la discusión de la insostenibilidad desde de diferentes perspectivas colocando nuevamente en el escenario mundial el tópico de la crisis socioambiental a nivel de emergencia planetaria, al resaltar los riesgos potenciales sin precedentes para la humanidad. Lamentablemente y, paradójicamente los resultados obtenidos no han sido los esperados, a pesar de la gran cantidad de eventos, investigaciones científicas, mayor difusión de conocimiento, facilidad de acceso a la información, promulgación de leyes, normas, y haberse incrementado las organizaciones interesadas en esta temática.

## **Ingeniería y sostenibilidad: Retos y horizontes**

La ingeniería no escapa a la dinámica de la época actual, caracterizada por la incertidumbre,

paradojas, contradicciones sujeta a la presión de cambios. En este sentido, la ingeniería se torna foco de atención y cuestionamiento en cuanto a su rol protagónico en la concepción del desarrollo, más allá de lo netamente técnico, tal como se ha destacado en los múltiples eventos, acuerdos, convenios, programas y principios vinculados al DS, realizados por diferentes actores sociales en las últimas décadas, por tal motivo seguidamente se presentan los referentes teóricos más importantes en este ámbito.

Los **Principios de Hannover para la Sustentabilidad** (McDonough: 2000), resumen una filosofía de diseño sustentable en la cual se promueve el respeto por los procesos y relación con la naturaleza y la responsabilidad de las decisiones para la disminución del impacto ambiental. Para Briceño (2003:6), estos principios deben verse como un documento "comprometido con la transformación y el crecimiento en la comprensión de nuestra interdependencia con la naturaleza, para que puedan adaptarse como nuestro conocimiento del mundo que evoluciona", es decir comprender que se coexiste con el entorno y los ecosistemas por lo tanto se debe ser respetuoso con la naturaleza, siendo responsable del impacto a corto y largo plazo de los proyectos y trabajos realizados.

Por su parte, los **Principios Guía para la Ingeniería para el Desarrollo Sustentable**, elaborados la Real Academia de Ingeniería de Londres en el 2005 recalcan la necesidad de transformar cuanto antes la visión práctica profesional de la ingeniería en cuanto a las

soluciones de problemas técnicos, no limitándose sólo a satisfacer la lógica del mercado. Proponen asumir una visión holística de la ingeniería, en la cual se incluyan las consecuencias a largo plazo de la implementación de las soluciones propuestas, en consenso con los diversos actores involucrados, equilibrando la importancia de todas las fases de ejecución del trabajo y no solo enfatizar el diseño; resaltan la importancia de poner en práctica lo que se predica basado en la toma de decisiones apropiadas y oportunas vinculadas a la sostenibilidad, así como también en la planeación y gerencia efectiva de los recursos; apoyando los mecanismos necesarios de sanción económica aplicables a quienes contaminen y dando a la sostenibilidad la ventaja ante cualquier duda.

Como complemento a lo anterior, merece la pena señalarse varios eventos a nivel mundial que también representan retos y compromisos para la ingeniería en el siglo XXI. En primer lugar, se tiene el Congreso Mundial de Ingenieros realizado en Shangai en el 2004, en el cual se emitió la **Declaración de Shangai sobre Ingeniería y el Futuro Sostenible**, proclamando que la ingeniería y la tecnología son de vital importancia en la dirección de la reducción de la pobreza, el DS y las Metas de Desarrollo del Milenio, destacando como responsabilidad y compromiso de la ingeniería "crear y aplicar la tecnología para minimizar el desperdicio de recursos, reducir la contaminación y proteger la salud humana, el bienestar y el medio ambiente ecológico" (p.3).

Asimismo, en el VII Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería realizado en el 2010, organizado por la Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería (ASI-BEI), con la convocatoria "**La Formación del Ingeniero para el Desarrollo Sostenible**", concluyó que es necesario formar ingenieros socialmente responsables, comprometidos con el DS, con la finalidad de

*"...contribuir con la urgente tarea de reconocer, identificar y caracterizar las prioridades que permitan diagnosticar, proponer, planear y aportar propuestas sostenibles en cada uno de los ámbitos de su incumbencia. Por otra parte, la sociedad debe comprender que el ingeniero está asociado al crecimiento y que el desarrollo sostenible de una región dependen en gran medida de la participación de los ingenieros" (p.1).*

Igualmente el **Consejo Federal de Decanos de Ingeniería** (CONFEDI) en el marco del Congreso Mundial de Ingeniería del 2010, destaca como sus aportes en esta materia concluyó que se requiere un nuevo paradigma de formación integral de los ingenieros, basada en la articulación tanto en conocimientos técnicos y sociales, expresados en valores, principios éticos, aptitudes y actitudes orientados al respeto y compromiso por la diversidad y multiculturalidad, imprescindiblemente con competencias profesionales para actuar de manera reflexiva y crítica con visión sistémica y perspectiva supranacional

y regional, para contribuir con el desarrollo sostenible del país.

En resumen, estas iniciativas, en sus diferentes manifestaciones y alcances, promueven la reflexión y discusión, ha incorporar la sostenibilidad en la formación y ejercicio profesional de los ingenieros, coincidiendo todas en la necesidad de la revisión y transformación de la ingeniería tradicional, en una nueva ingeniería o ingeniería socialmente responsable, la cual deberá destacarse por asumir la complejidad de los problemas, el trabajo multi y transdisciplinario, en la entramada red formada por los distintos actores involucrados, así como también por la comprensión y respuestas acorde a la dinámica de los sistemas sociales actuales, para lo cual se requieren cambios más allá de incluir temas o materias relacionadas con la sostenibilidad, es decir lo netamente curricular, pues es indispensable integrar a los actores involucrados alumnos, docentes, egresados, asociaciones profesionales, representantes del tejido empresarial, organizaciones vinculadas a la investigación, comunidades organizadas, medios de comunicación y el Estado como responsables de las políticas públicas y su puesta en práctica, entre otros.

## Ingeniería para la Sustentabilidad. Técnicas y estrategias

El impacto de las actividades humanas es incuestionable, en particular cuando son de tipo empresarial o industrial, viéndose esto incrementado con la explosión demográfica, el incremento vertiginoso de la demanda y por ende el mayor uso de materia primas y suministros, consumo de energía

principalmente de origen fósil, el aumento de productos usados acumulados en basureros y depósitos abarrotados sin un destino final predefinido, consecuencia implícita de la obsolescencia programada, práctica empresarial que consiste en la reducción deliberada de la vida útil de los productos para incrementar su consumo; y los avances tecnológicos, entre otros, todos ellos causando mayor degradación del ambiente. En la actualidad generalmente se sobreestima la capacidad de los sistemas naturales, asumiendo el entorno como un vertedero ilimitado de desechos, Yáñez y Zavarce (2009).

Sin embargo, lamentablemente aun prevalece la premisa de “reducir costos y maximizar ganancia”, en la cual la obsolescencia programada de los productos surge como herramienta válida a este fin, así como también el enfoque tradicional disciplinario, contradictoriamente a la retórica del discurso en la que se manifiesta preocupación por la crisis socioambiental.

No obstante, es importante destacar que desde hace varias décadas se han desarrollado diversos conceptos, estrategias e iniciativas caracterizadas por incluir el manejo de sistemas ambientales, que van desde la remediación, prevención y medidas precautorias. Resulta entonces evidente, que el horizonte y tendencias actuales apuntan a propiciar procesos y productos más amigables con el ambiente, para lo cual la Ecología Industrial, Ecoeficiencia, Producción más Limpia, el Análisis del Ciclo de Vida, el Ecodiseño y las Normas ISO 14000 pueden representar hilos conductores y

vinculantes de la ingeniería y la sustentabilidad.

La **Ecología Industrial (EI)**, se fundamenta en la analogía con los sistemas naturales, al asumir los sistemas industriales como ecosistemas que intercambian energía, materia e información entre si y su entorno, el cual debe ser capaz de reemplazar el consumo de materias primas y energía, asimilando las emisiones de residuos generados por la industria. Por su parte, la **Producción más Limpia (PML)** es un concepto introducido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1989, sus ventajas son ampliamente reconocidas pues permiten incrementar la eficiencia en el uso de recursos, mejorar el proceso productivo y los productos, durante todo el ciclo de vida de los mismos, derivados de un mejor desempeño ambiental al reducir el impacto ambiental.

Ahora bien, la **Ecoeficiencia** fue presentada en 1992 como una contribución a la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sustentable de Río de Janeiro, para el cumplimiento de la Agenda 21 en el sector privado. El Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible de América Latina la define como *la armonía e interrelación que debe existir entre la energía, la economía y la ecología en el ámbito industrial, a fin de aprovechar de forma ética y racional los recursos materiales y energéticos; sin afectar el medio ambiente y logrando mayor rentabilidad y competitividad*, es decir integra la perspectiva ambiental a la gestión empresarial en sintonía con la producción sostenible con visión de largo plazo.

Los fundamentos de la Ecoeficiencia, son popularmente conocidos como *producir más con menos* al proponer, reducción de la cantidad de materiales utilizados en productos y servicios, sobre todo recursos naturales, disminución del consumo de agua y energía, en particular la de origen fósil, disminución de las emisiones y efluentes, incremento de la capacidad de reciclaje de los productos, aumento de la vida útil del producto y hacerlo más amigable con el ambiente, de manera que reduzca paulatinamente los impactos de las actividades empresariales.

Relacionado al punto anterior se encuentra el **Análisis del Ciclo de Vida (ACV)**, herramientas muy útil para la aplicación de los principios de sustentabilidad, porque permite la evaluación de las entradas, salidas y los impactos ambientales potenciales de los productos, a través del análisis de las etapas que van desde la obtención y consumo de materiales y componentes, pasando por la producción, distribución y venta, fin del ciclo de vida y disposición final, es decir desde la cuna hasta la tumba. Una de las guías más utilizadas para el ACV son las Normas ISO de la serie 14040-14049, en las cuales se presenta el marco metodológico orientadas a la identificación de oportunidades de mejora del desempeño ambiental de productos en las distintas etapas de su ciclo de vida, aspecto fundamental del proceso empresarial responsable, debido a que más de la mitad de los impactos ambientales se pueden relacionar con el diseño, Alonso (2010). Por esta razón, es una prioridad para las organizaciones que deseen categorizarse como sostenible, desarrollar productos basados en **Ecodiseños**, metodología que integra criterios ambientales en el diseño de productos y servicios, de modo que se logre la reducción de los impactos ambientales que producen, teniendo en cuenta todas las fases de su ciclo de vida.

### **Ingeniería y Complejidad. Debilidades, brechas y vacíos**

Aun cuando parezca sorprendente, no se ha logrado consenso del término DS, siendo muchas veces utilizado como eslogan de forma mediática y, no por convicción. Ante esta situación, merece destacarse que si bien es cierto que los referentes antes señalados representan opciones para transitar el camino a la sustentabilidad, desafortunadamente, no son suficiente para su instrumentación, pues la cosmovisión vigente

arraigados en la lógica del mercado, modos de producción y consumo insostenible, al promover el crecimiento económico indefinido, obstaculizan y atentan contra las posibilidades de hacerlo posible.

Es importante señalar, que no se trata de ser pesimista o escéptico, por el contrario, se quiere enfatizar la magnitud, complejidad y dinámica de la insostenibilidad, por lo tanto subestimar los planteamientos a radicales, mesiánicas y aisladas mejoras curriculares, actualizaciones tecnológicas verdes y actividades y planes, segmentadas y no sistemáticas, sin incluir una profunda transformación sociopolítica de la forma de pensar la interrelación con la naturaleza, basada en la coexistencia hombre-naturaleza-sociedad de manera respetuosa y responsable en función del beneficio de las actuales y futuras generaciones, es crear el espejismo de un oasis de cambios efímeros.

Por el contrario, se considera esencial como punto de partida reconocer la complejidad del tema, considerando las polémicas, argumentos y contradicciones que implica la relación ingeniería y DS, producto de la intrincada red de intereses e interrelaciones de actores involucrados, enfocados principalmente en resultados a corto plazo sin mayor compromiso/responsabilidad por las consecuencias actuales/futuras de la toma decisiones.

Por esta y otras razones, se descarta la desesperanza y resignación y se propone trabajar para sentar/establecer las bases de transformación epistémica y axiológica, de la ingeniería en función de la simbiosis con el Desarrollo Sustentable, convocando no solo a las universidades, para revalorizar su rol social y en particular la Ingeniería, sino también promover valores para la sostenibilidad (Equidad, respeto, solidaridad), asimismo la investigación transdisciplinaria con planes y acciones orientados a contribuir a la solución de las problemáticas socio-productivas locales y regionales conjuntamente con las comunidades organizadas, asociaciones y colegios profesionales, organizaciones empresariales y productivas, organismos públicos entre otros.

### **Conclusiones**

La ingeniería no pueden continuar indiferente ante las devastadoras consecuencias de los modos de producción y consumo, primordialmente basados en maximizar ganancias y reducir

costos, subestimando la dimensión socioambiental, y por ende del compromiso con las generaciones futuras.

En este sentido, es importante destacar que actualmente se dispone de diversas opciones (Ecología Industrial, Ecoeficiencia, PML, Ecodiseño, ACV entre otras) orientadas a disminuir los impactos de los procesos y productos, propiciando la eficiencia en el uso de los materiales y recursos en armonía con el entorno. No obstante, sería simplista tratar el tema del DS, enfocado a mejoras técnicas o reformas curriculares, el desafío es enorme e implica una profunda transformación de la cosmovisión vigente, extensiva a todos los actores sociales (Estado, empresarios, organizaciones empresariales, colegios de ingenieros, unidades productivas, comunidades organizadas, sociedad en general), para asumir responsablemente y en todo su alcance la sostenibilidad, en lo cual está presente lo local/global, presente/futuro, disciplinario/transdisciplinario, semejante/heterogéneo, variable/estable, incertidumbre/sistemático, y sus diversos componentes ambientales, sociales, económicos, políticos, académicos, empresariales, científicos, técnicos, legales y axiológicos entre otros, que sin lugar a dudas le da características multifactoriales, dinámicas y complejas.

## Referencias bibliográficas

Alonso M. 2010. La certificación del Ecodiseño: una excelente oportunidad para fomentar la competitividad de las empresas. Boletín ECODES. Disponible desde Internet en: <http://archivo.ecodes.org/pages/especial/ecodisenocalonso.html>

Briceño M.A. 2003. Universidad, Sector Productivo y Sustentabilidad. Publicación de Desarrollo Científico y Humanístico, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

CONFEDI. 2010. La Formación del Ingeniero para el Desarrollo Sostenible. Aportes del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería CONFEDI.

DI. Congreso Mundial Ingeniería, Buenos Aires, Octubre de 2010. Disponible desde Internet en: <http://confedi.org.ar/documentos/la-formacion-del-ingeniero-para-el-desarrollo-sostenible> Congreso Mundial de Ingenieros Shanghai 2004. Declaración de Shanghai sobre Ingeniería y el Futuro Sostenible. Disponible desde Internet en: [http://www.upadi.org.br/n\\_shanghai.html](http://www.upadi.org.br/n_shanghai.html).

Meadows D.H., D.L. Meadows, J. Randers y W. Behrens 1972. Los límites del crecimiento: informe al Club de Roma sobre el predicamento de la humanidad. Disponible desde Internet en: <http://ecampus.utah.edu/eca/thesis/1.s3.amazonaws.com/geografiapoblacion/454577910.tmsa-piain-limitesalcrecimiento.pdf>.

McDonough W. 2000. The Hannover Principles. Design for Sustainability. Prepared for EXPO 2000. The World's Fair. Hannover, Germany. Disponible desde Internet en: <http://www.mcdonoughpartners.com/>.

Informe Brundtland titulado "Nuestro Futuro Común" 1987. Disponible desde Internet en: <http://www.qcentro.org/Etica/debate/InfoCartadelaTierra.pdf>

The Royal Academy of Engineering, London 2005. Engineering for Sustainable Development: Guiding principles. Disponible desde Internet en: <http://www.raeng.org.uk/>.

Yáñez R., M.A. Briceño, J. Yáñez y A. Alfonsi 2012. Desarrollo Sustentable Espacio de Transformación para la Ingeniería: Fundamentos, Perspectivas y Retos. In: Memorias V Simposio Internacional de Ingeniería Industrial Actualidad y Nuevas Tendencias 2012 (VSIII), Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, 548-561.

Yáñez R. y C. Zavarce 2009. Desarrollo Sustentable: ¿Desafío o Compromiso? Rev. Ingeniería Industrial Actualidad y Nuevas Tendencias 1(3): 73-85. Disponible desde Internet en: <http://servicio.cid.uc.edu.ve/ingenieria/revista/Inge-Industrial/index.htm>.