

Giuliano, Gustavo

*Aproximaciones conceptuales y metodológicas
para una ingeniería sostenible*

Ponencia presentada en:
I Congreso Argentino de Ingeniería (CADI), 2012

Este documento está disponible en la Biblioteca Digital de la Universidad Católica Argentina, repositorio institucional desarrollado por la Biblioteca Central "San Benito Abad". Su objetivo es difundir y preservar la producción intelectual de la Institución.

La Biblioteca posee la autorización del autor para su divulgación en línea.

Cómo citar el documento:

Giuliano, G. Aproximaciones conceptuales y metodológicas para una ingeniería sostenible [en línea]. En: I Congreso Argentino de Ingeniería (CADI); 2012Ago 8-10; Mar del Plata : Universidad Nacional de Mar del Plata ; Universidad FASTA ; Consejo Federal de Decanos de Ingeniería.. Disponible en:
<http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/contribuciones/aproximaciones-conceptuales-metodologicas.pdf> [Fecha de consulta:]

Aproximaciones conceptuales y metodológicas para una ingeniería sostenible

Gustavo Giuliano

Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería, Universidad Católica Argentina, Alicia Moreau de Justo 1500, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
gustavo_giuliano@uca.edu.ar

Abstract. El desarrollo sostenible presenta desafíos conceptuales y metodológicos para el ejercicio y la enseñanza de la ingeniería, en tanto imbrica cuestiones puramente técnicas con otras de orden social. En este trabajo, con el fin de traer a la luz tal complejidad, se abordan tres aproximaciones actualmente en consideración académica. El desarrollo comienza con una contextualización histórica del concepto de sustentabilidad de las Naciones Unidas. A continuación se profundiza en el estudio del diseño para el medio ambiente y el surgimiento de la Norma Internacional de Planificación Ambiental ISO 14000 a mediados de los años 90. Luego se procede a una crítica a sus conceptos asociados de “eco-eficiencia” y “ciclo de vida” desde la iniciativa metodológica radical conocida como “de la cuna a la cuna”. Finalmente se cierra el recorrido con el despliegue de una propuesta novedosa: “la ingeniería y gestión de los sistemas de la Tierra”.

Keywords: desarrollo sostenible, diseño para el medio ambiente, de la cuna a la tumba, de la cuna a la cuna, ecología industrial, ESEM

1. El desarrollo sostenible

La Comisión para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas, formada en el año 1982¹, fue clara en señalar que el medio ambiente no existe como una esfera separada de las acciones humanas, sus ambiciones y necesidades, sino que, siendo el lugar donde se despliega la vida, está intrínsecamente relacionado con el desarrollo social y cultural de las naciones; el medio

¹ También conocida como “Comisión Brundtland” por el apellido de la por ese entonces Primer Ministra Noruega encargada de presidirla. Fue la responsable de la elaboración, en 1987, del informe “Nuestro futuro en común”.

ambiente no debe reducirse sólo al mundo natural ni el desarrollo entenderse como mera asistencia de los países ricos a los pobres.

Es a esta comisión que se debe la definición, ya clásica, que caracteriza al desarrollo sostenible como aquel que “permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas”. El concepto de desarrollo sostenible, así construido, lleva a reconocer la existencia de límites y riesgos relativos al conocimiento científico, al estado de la tecnología, a las formas de organización social y a la capacidad de la biósfera de absorber los efectos de la actividad humana.

A pesar de que la definición propuesta fue sumamente efectiva para incluir en la agenda de los gobiernos el tema de la sustentabilidad, su capacidad para generar programas de acción concretos encontró limitaciones por su alto grado de ambigüedad, en cuánto a que no especifica con claridad qué es lo que debe ser sostenido, ni por cuánto tiempo, ni qué debe ser desarrollado, ni cuál debe ser el vínculo entre todas estas categorías. Esta imprecisión ha dado cabida a una diversidad de interpretaciones que cubren desde miradas que ven al planeta como un medio que se debe sostener en tanto proveedor de recursos para los humanos, hasta las que consideran que la naturaleza es un bien en sí mismo y que su cuidado no debe basarse en argumentos puramente instrumentales.

Con el fin de cerrar parcialmente las posibilidades de interpretación, las sucesivas conferencias de las Naciones Unidas –la de 1992 de Rio de Janeiro y la de 2002 de Johannesburgo– avanzaron sobre el concepto de responsabilidad colectiva, sobre los alcances locales, nacionales, regionales y globales y, principalmente, determinaron un modelo de tres áreas interrelacionadas, la económica, la social y la ambiental que demarcan la “sustentabilidad ampliada”². Según este modelo, la búsqueda y consecución de un mundo sostenible debe pensarse necesariamente sobre la base de tres registros inseparables: disponer de un entorno ambiental vivible que sea económicamente viable y socialmente equitativo.

Acompañando estos movimientos, la ingeniería comenzó a tener en consideración los efectos ambientales de sus productos desde hace ya algunas décadas. En este sentido, si bien la profesión ha asumido el desafío de aportar a la construcción de un mundo sostenible y ya se han

² Otra iniciativa que busca orientar el desarrollo sostenible es la “Carta de la Tierra” promulgada en el año 2000.

articulado nuevas metodologías de diseño que tienen especialmente en consideración los efectos sobre el medio ambiente³, un reciente estudio realizado en universidades norteamericanas señala que aún no se han realizado grandes avances en incluir la dimensión social y cultural de la sustentabilidad ampliada dentro de la enseñanza y el ejercicio de la disciplina [1].

Reconocer a la ingeniería como una actividad no neutral que actúa sobre el mundo imprime una gran responsabilidad para los tecnólogos en tanto que ya no puede concebirse pensar la sostenibilidad del planeta sin una comprensión profunda del fenómeno tecnológico. Ramas nuevas en acelerado desarrollo, como la nanotecnología, prometen modificar el entorno de una manera en que harán palidecer a las transformaciones previas. Estos impactos no serán sólo medioambientales y económicos sino también, y quizás fundamentalmente, sociales.

Los procesos de diseño se han adaptado, o están en vías de hacerlo, para trabajar con los conceptos, requisitos y recomendaciones derivados de las ciencias ambientales y económicas⁴. Por el contrario, las dimensiones sociales y culturales, al ser susceptibles de variadas interpretaciones y juicios de valor, se resisten a una reducción cuantitativa y resultan difíciles de ser incorporadas a los procesos heurísticos de la ingeniería. De este modo, resulta relativamente sencillo para un ingeniero incorporar en el diseño restricciones asociadas a un mejor rendimiento energético, a una menor generación de residuos tóxicos o a una minimización de costos, pero le es mucho más difícil incluir otras aristas que tengan que ver, por ejemplo, con la equidad social y la diversidad cultural. Las siguientes aproximaciones metodológicas actualmente en consideración son ejemplos de ello.

2. Diseño para el medio ambiente

En anticipación a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de Río de Janeiro de 1992, la

³ Entre ellas pueden citarse: ingeniería verde, ecología industrial, diseño para el medio ambiente, de la cuna a la cuna, entre otras.

⁴ La enseñanza de economía en las carreras de ingeniería es habitual, sin embargo suele tener una fuerte impronta instrumental en desmedro de una aproximación más política que permita ahondar en las raíces del problema de la distribución de los recursos escasos.

Organización Internacional de Normalización (ISO)⁵ conformó, en el año 1990, un grupo estratégico sobre medio ambiente con la finalidad de desarrollar una normativa con foco específico en la gestión medioambiental. Así nació la serie de Normas ISO 14000. El objetivo general que guió el trabajo fue “proporcionar las directrices para una gestión empresarial que proteja al medio ambiente y prevenga la polución en balance con las necesidades socio-económicas” [2]. La familia quedó conformada por 20 documentos agrupados en dos grandes conjuntos, uno que se ocupa de la evaluación ambiental de los aspectos relacionados con la gestión de la empresa y otro que se centra específicamente en la evaluación ambiental de los productos generados por ellas (ver tabla N° 1)⁶.

Tabla 1. La familia de Normas ISO 14000. En la ISO 14050 se encuentra el glosario general de términos y definiciones empleados en todas ellas.

ISO 14000: Sistemas de gestión ambiental	
Evaluación de la organización	Evaluación del producto
Sistemas de gestión ambiental (ISO 14001 y 14004)	Etiquetas y declaraciones ambientales (ISO 14020, 14021, 14022, 14023 y 14024)
Auditoría ambiental (ISO 140010, 14011 y 14012)	Análisis del ciclo de vida (ISO 14040, 14041, 14042 y 14043)
Evaluación del desempeño ambiental (ISO 14031)	Aspectos ambientales de los productos (ISO 14060, 14063, 14064 y 14065)

Es importante resaltar que las normas de gestión tienen como objetivo establecer procedimientos y no valores de indicadores específicos de metas o productos. Estos últimos están sujetos a regulaciones

⁵ La International Organization for Standardization (ISO) es una organización no gubernamental fundada en 1947, con sede en la ciudad de Ginebra, dedicada a consensuar y elaborar normativas técnicas entre los organismos de estandarización de diferentes países. En la actualidad la red está conformada por institutos de 159 naciones. En Argentina corresponde esta misión al Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). La organización cuenta con cerca de 18.000 publicaciones. Quedan excluidos de su incumbencia los productos electrotécnicos que son objeto de la International Electrotechnical Commission (IEC) que, al momento de la creación de la ISO, ya se encontraba en funcionamiento desde el año 1906.

⁶ En la actualidad se encuentran en desarrollo otros 8 documentos: ISO 14005, 14006, 14033, 14045, 14051, 14066, 14067 y 14068. Ver www.iso.org (consultada en julio de 2011).

nacionales o acuerdos internacionales como los establecidos en el Protocolo de Kioto para las emisiones de gases de efecto invernadero. De este modo, la norma especifica los requisitos para la implantación de un sistema de gestión ambiental que le permita a una organización formular su política y objetivos teniendo en cuenta los impactos ambientales significativos⁷, pero sin establecer criterios específicos de desempeño ambiental más allá del compromiso de cumplir con la legislación y las reglamentaciones aplicables y de disminuir de manera continua su potencial contaminante. Bajo estos alcances, dos organizaciones que realicen actividades similares pero que tengan diferentes desempeños ambientales pueden cumplir ambas con sus requisitos.

El núcleo estratégico de la normativa se basa en dos principios centrales: la prevención de la contaminación y la mejora continua. La prevención de la contaminación se entiende como el uso de procesos, prácticas, materiales o productos que evitan, reducen o controlan la contaminación, los cuales pueden incluir reciclados, tratamientos, cambios de proceso, mecanismos de control, uso eficiente de los recursos y sustitución de materiales. El mejoramiento continuo se entiende como un proceso de mejora del sistema de gestión ambiental para lograr progresos en el desempeño medioambiental global de acuerdo con la política de la organización.

Sobre la base de que en lugar de pagar un precio exorbitante para corregir los daños generados al entorno, las empresas pueden rediseñar sus sistemas industriales para alcanzar tanto la calidad ambiental como la eficiencia económica, el diseño para el medio ambiente propone abordar los problemas que puede generar un producto desde la etapa inicial de su diseño. Sin descuidar otros objetivos como el rendimiento técnico o el costo, se buscan innovaciones que den lugar a una reducción de la contaminación y los residuos en alguna o todas las fases del proceso de su fabricación y uso. Esto obliga a que se consideren los impactos sobre el medio ambiente como un requisito más entre todos los que intervienen en la planificación temprana dando origen al concepto de “eco-eficiencia”. La eco-eficiencia tiene un sentido empresarial, al eliminar los residuos y utilizar los recursos de

⁷ Entre los impactos ambientales significativos se encuentran las emisiones a la atmósfera que contribuyan al efecto invernadero y a la formación de lluvia ácida, la contaminación del agua y del suelo, la generación de residuos peligrosos y la utilización de los recursos naturales.

manera más sensata, las compañías reducen gastos y se hacen más competitivas⁸.

Bajo esta concepción el diseño se desglosa en una consideración del medio ambiente, entendida como protección y conservación de los recursos naturales, y un diseño para la salud y la seguridad, que abre al análisis de la reducción de riesgos de enfermedades crónicas y la prevención de accidentes.

La implantación de la normativa se conduce a través de tres categorías cada vez más amplias: procesos más limpios, productos más limpios y utilización sostenible de los recursos. En la primera se modifican los procesos y la tecnología asociada para generar menos contaminación⁹, en la segunda se modifica el producto mismo para que su fabricación genere menos residuos y en la tercera se modifica todo el sistema de producción, incluso las relaciones con los proveedores y clientes. En este último sentido se promueve el programa ecologista conocido como de las “3R” por reducir, reutilizar y reciclar, y el “análisis del ciclo de vida” que estudia el impacto generado en todas las etapas del proceso, desde su generación hasta su descarte, “de la cuna a la tumba”¹⁰.

En definitiva, la normativa genera una compleja y exigente serie de objetivos y restricciones que deben ser cumplidas tanto por los artefactos como por las organizaciones que los producen.

⁸ “Diseño para el medioambiente es un concepto que no ha surgido de chillones ecologistas extremistas que exigen que se congele el desarrollo industrial. Tampoco se ha originado por las fantasías sentimentales de los amantes de la naturaleza. Por el contrario, es un esfuerzo que ha sido pensado, deliberado y madurado por el gobierno y la industria, como reconocimiento de la importancia de conservar el medio ambiente a la vez que se apoya el crecimiento industrial.” [3].

⁹ Por ejemplo minimizando los recursos no renovables empleados en la producción desde la perspectiva del uso racional de la electricidad, el gas, el agua y los espacios físicos.

¹⁰ Su origen conceptual puede rastrearse hasta las pioneras investigaciones acerca de los límites del crecimiento realizadas por el Club de Roma en la década de 1970, a partir de las cuales comenzaron a desarrollarse diferentes iniciativas de empresas privadas y organismos estatales cuyo continuo crecimiento desembocó en el primer congreso internacional sobre la temática que se realizó en Washington en 1990. El potencial del método impulsó su necesidad de normalización, la que, como se indicó, fue establecida en la Norma ISO 14040 editada en el año 1997. Finalmente, en respuesta a la llamada de los gobiernos para aplicar una economía del ciclo de vida expresada en la Declaración de Malmö del año 2000, se creó –con el auspicio del Programa de Naciones Unidas para el Medioambiente y la Sociedad de Química y Toxicología Ambiental– la Iniciativa para el Ciclo de Vida y la Asociación Internacional del Ciclo de Vida con el objetivo de desarrollar y difundir herramientas prácticas para evaluar las oportunidades, riesgos y compensaciones, asociados a los productos y servicios durante todas las etapas del ciclo de vida.

3. De la cuna a la cuna

Para algunos diseñadores no es ecológicamente adecuado instrumentar políticas de producción en la línea señalada por las “3R” y la eco-eficiencia. Si bien consideran que son conceptos aparentemente nobles, no señalan una estrategia de éxito a largo plazo en tanto no llegan a las raíces del problema. Aunque se administren mayores prescripciones morales y medidas legales y técnicas coercitivas, hacer más eficiente el mismo sistema tan sólo ralentiza el problema generado por un proceso de industrialización errado desde su propia génesis, heredero de la cosmovisión imperante en la Revolución Industrial en donde no era considerada ni la salud de los sistemas naturales, ni la conciencia de su delicadeza, ni la complejidad de la sociedad sobre la que recaían los nuevos productos manufacturados. La infraestructura que hoy se dispone sigue siendo básicamente lineal, focalizada en la fabricación de un producto y en su traspaso rápido a un cliente, sin muchas más consideraciones que la ganancia económica resultante de este proceso.

En este paradigma de producción y desarrollo, la diversidad del mundo natural es una fuerza hostil y una amenaza a los objetivos del diseño, algo a lo que se le debe oponer la fuerza racionalizadora y su imperativo de soluciones universales. Bajo esta concepción el concepto de eco-eficiencia no puede salvar el medio ambiente, ya que supone apoyar que la industria acabe con todo, sólo que ahora más lentamente, de forma más callada pero igualmente persistente. Se conoce demasiado poco sobre los contaminantes industriales y sus efectos sobre los sistemas naturales como para que la ralentización sea una estrategia saludable a largo plazo.

Incluso reutilizar residuos por parte de algunas industrias no evita la propia toxicidad de los mismos durante su manipulación. En muchos casos, esta reutilización tan sólo sirve para trasladar el problema de un sitio a otro en un proceso de degradación progresiva. Por otra parte, el uso creativo de materiales reciclados (en rigor “infraciclados” ya que su calidad es inferior a la original) puede ser aún más perjudicial que su descarte ya que abren vías de continuidad de uso de productos que pueden contener componentes tóxicos peligrosos en condiciones para las que no fueron pensados inicialmente. Adoptar ciegamente

aproximaciones ecológicas superficiales sin entender plenamente sus consecuencias puede llegar a ser incluso peor que no hacer nada¹¹.

Como alternativa, Michael Braungart y William McDonough proponen una estrategia de cambio [4]. No se trata de buscar una opción menos dañina sino de repensar la totalidad del proceso de diseño en sí mismo, trabajando sobre todo el esquema de restricciones que delimitan el diseño. La eco-eficiencia no cuestiona las prácticas y métodos básicos que hasta ahora han contribuido a degradar el planeta.

El diseño “de la cuna a la cuna” (C2C) propone en su reemplazo la “eco-efectividad”, que significa trabajar sobre los productos, los servicios y los sistemas “correctos”, en lugar de hacer que las cosas “incorrectas” sean menos malas. Una vez que se están haciendo las cosas correctamente, entonces sí tiene sentido hacerlas mejor con la ayuda de la eficiencia, entre otras herramientas conceptuales. Según sus promotores, la eco-efectividad es un nuevo paradigma para el diseño del mundo, un diseño que abarca desde la visión del objetivo inicial hasta considerar la totalidad de sus implicancias. Es una innovación que provoca algo completamente distinto a lo ya conocido, no porque proponga soluciones necesariamente radicales, sino porque se trata de un cambio de perspectiva. Una nueva perspectiva que en lugar de pensar en controlar la naturaleza, propone aprender de ella, seguir y conservar sus ciclos pactando una declaración de compromiso, de interrelación y no de independencia.

Una de las bases principales del diseño eco-efectivo es el principio de “basura cero”. Al igual que sucede en la naturaleza, los desechos, de alguna manera, deben convertirse en alimento. Por un lado de forma de nutrientes biológicos que pueden volver a la tierra sin peligro, contribuyendo a la salud de la biosfera, y por otro como nutrientes técnicos que alimentan el circuito productivo. El producto debe pensarse desde su origen para que sea factible esta reconversión final, evitando mezclas irreversibles que generan “híbridos monstruosos”, productos de “usar y tirar”, cuyo destino final no puede ser otro más que el basural, desperdiciándose valiosos componentes que no pueden ser recuperados para que continúen su vida en un circuito virtuoso de uso. Eliminar el concepto de basura significa diseñar los productos, los embalajes y los sistemas desde su origen para su desensamblado final:

¹¹ Un ecosistema puede tener más posibilidades de retornar a un estado sano y completo después de un rápido colapso que deje algunos nichos intactos, que tras un proceso lento, deliberado y eficiente de destrucción de la totalidad.

la forma debe servir a la evolución, no sólo a la función. Los objetos, pensados de esta manera, podrían redefinirse como productos de servicio, y no como productos de consumo, en tanto brindan un servicio a los usuarios y al ser reemplazados, por obsolescencia o simple gusto, en lugar de ser desechados, vuelven a sus fabricantes quienes son los que retienen la propiedad de sus componentes.

Otra de las premisas debe ser “respetar la diversidad”, no sólo la biodiversidad sino también la diversidad de los lugares y las culturas, de los deseos y las necesidades. Los diseños no deben pretender ser eternos y universales, sino efímeros y locales, evitando la monotonía y generando abundancia. Se debe “reconocer la interdependencia”, en tanto los elementos del diseño humano están entrelazados con los flujos del mundo natural y dependen de él, con implicaciones profundas y variadas a cada escala. Se debe progresar hacia una “re-evolución industrial” con una tecnología que diseñe ingeniosas máquinas que no sólo empleen a la naturaleza como herramienta, sino que los sistemas que ella genere puedan a su vez convertirse en una herramienta para el desarrollo del entorno natural y social.

Por último, los diseños eco-efectivos deben reconocer las necesidades del comercio y el hecho de ser productivos, pero esto no se debe lograr a expensas de la equidad y la salud del medioambiente. Deben servir tanto al comercio como al bien público que lo sustenta. Por ello los diseños deben responder a objetivos de la sustentabilidad ampliada teniendo en cuenta tanto los aspectos económicos como los ambientales y los sociales buscando relaciones de compromiso que permitan satisfacer simultáneamente a todos ellos.

Si bien el camino hacia la eco-efectividad es largo, Braungart y McDonough proponen que para comenzar a transitarlo se deben abandonar aquellas sustancias claramente reconocidas como dañinas y bioacumulativas y buscar elegir positivamente los componentes de un producto y la manera de combinarlos. Respetar las restricciones referidas a las sustancias que pueden emplearse en la constitución de los productos limita pero a la vez reinventa el espacio de posibilidades del diseño.

4. Ecología industrial

Una alternativa en exploración que se aproxima a la idea propuesta por el diseño de la cuna a la cuna es la “Ecología Industrial” [5]. Su formulación consiste en pensar a los sistemas tecnológicos tomando como referencia el comportamiento de los ecosistemas naturales. Los sistemas industriales deben cooperar entre sí reusando los desperdicios de unos procesos como la entrada de otros, en una suerte de metabolismo artificial que tienda a un equilibrio con el entorno, minimizando la generación de residuos y el consumo de energía.

La ecología industrial estudia los flujos de materiales y energía relacionados con las actividades industriales y del consumidor, los efectos de estos flujos sobre el medioambiente y la influencia de los factores económicos, políticos, normativos y sociales en la circulación, uso y transformación de los recursos. De este modo evoluciona la concepción del diseño desde un modelo lineal a uno cíclico más afín con el comportamiento del mundo natural.

Su concepción implica la aceptación de los siguientes principios:

- Todas las operaciones industriales asemejan sistemas naturales que deben funcionar como tales dentro de las limitaciones de sus ecosistemas locales y la biosfera.
- La dinámica y los principios de los ecosistemas ofrecen una importante fuente de orientación en el diseño y gestión de los sistemas industriales.
- La consecución de altas eficiencias de materiales y energía en la producción, uso, reciclaje y servicios generará una ventaja competitiva y beneficios económicos.
- La última fuente de valor económico está en la viabilidad a largo plazo del planeta y de sus ecosistemas; sin esto, el éxito de los negocios actuales no tiene sentido.

5. Ingeniería y gestión de los sistemas de la Tierra (ESEM)

Para finalizar el estudio del diseño sustentable y dar paso a las conclusiones, se presenta una propuesta que parte de aceptar el hecho de que la actividad humana ha ido modificando su entorno hasta un punto en el cual ya no resulta posible diferenciar taxativamente entre lo

puramente natural y lo puramente artificial. Si bien el hombre siempre generó perturbaciones en la naturaleza, lo que ha cambiado drásticamente en las últimas décadas es la magnitud y los alcances a futuro de tal transformación¹², la Tierra se ha convertido en un artefacto, en un producto de diseño humano, y, en consecuencia, se debe asumir el compromiso de su ingeniería y gestión global.

Según Braden Allenby [6], las leyes, regulaciones e instituciones ambientales que se han desarrollado desde hace algunas décadas se han mostrado insuficientes para garantizar un mundo sostenible. Bajo estas circunstancias se hace necesario adoptar una nueva estrategia que se proponga actuar desde el origen de la tecnología, expandiendo la concepción de la ingeniería desde individuos y artefactos aislados hacia la de comunidades y culturas globalizadas, desarrollando nuevos conceptos, modelos mentales e incluso un nuevo lenguaje y una nueva ética. Sólo con este corrimiento de escala será posible asumir compromisos éticos y actitudes racionales que permitan actuar considerando la totalidad de nuestro hábitat.

Frente a la crítica, generalmente apocalíptica, de los discursos ambientalistas, se debe proponer un cambio de enfoque que no piense solamente en la naturaleza, sino, y sobre todo, que ponga énfasis en el desarrollo humano. No se trata sólo de “salvar el planeta” sino de “salvar a la especie humana” aunque esto último implique generar modificaciones en el entorno natural que no hubieran sucedido sin la intervención del hombre.

Este cambio implica abandonar el terreno conocido de la linealidad y la simplicidad para enfrentarse a la dinámica e incertidumbre propias de los sistemas complejos. La imbricación de los sistemas naturales con los humanos ha llegado a tal interdependencia que ya no alcanza para comprender su comportamiento los dominios de lo científico y lo técnico, sino que se deben incluir en pie de igualdad muchas disciplinas de las ciencias sociales. Esta “humanización” de la naturaleza lleva ineludiblemente a considerar a los valores como un tema central en la definición del tipo de mundo que se ha de desarrollar de aquí en más. Ya no hay estado natural al cual volver, se trata de decidir racional y éticamente, en un mundo con diferentes culturas, valores y prioridades, hacia dónde ir. Contribuir a desarrollar las herramientas y administrar

¹² La modificación del ciclo atmosférico del dióxido de carbono no comenzó con la revolución industrial y la quema de combustible fósil, sino con la tala indiscriminada de los bosques de Eurasia en el primer milenio de nuestra era.

este proceso son los objetivos nodales de la ingeniería y gestión de los sistemas de la Tierra.

ESEM es un campo en formación, es más una capacidad que una disciplina específica a desarrollar en las décadas venideras que una disciplina específica a definir en el corto término, es el “próximo, nuevo y gran cambio de nuestra especie”. Necesita de desarrollos paralelos en la ciencia y en la ética que aún están en etapa embrionaria o son del todo inexistentes, que permitan dar respuesta tanto a preguntas pragmáticas (p.e. ¿cómo se comportará el sistema frente a una perturbación específica?) como a axiológicas (p.e. ¿cómo se deben priorizar los valores deseables de desarrollar?).

Los sistemas complejos se diferencian de los simples en muchos aspectos, son mucho menos intuitivos en su funcionamiento y su comportamiento es mucho más dificultoso de predecir en tanto las relaciones causa-efecto están confundidas por múltiples lazos de realimentación e interacción. Además y fundamentalmente, sus propiedades son históricamente dependientes y evolucionan de manera que su futuro está en relación con el contexto, la dinámica interna y los cambios acontecidos en el pasado. Todas estas características hacen que para los sistemas complejos no exista un resultado óptimo a alcanzar por lo que dejan de tener sentido muchas de las prácticas clásicas como la búsqueda de maximización de la eficiencia. Las herramientas y conceptos aplicables a los sistemas lineales simplemente dejan de tener validez.

Si bien existen enormes lagunas de conocimiento para actuar sobre sistemas complejos reflexivos y con fuerte autonomía, esto no debería transformarse en una excusa para no hacer nada sino que por el contrario debe crear la obligación de actuar de la mejor manera posible. Se trata de reconocer que la especie seguirá transformando el mundo pero sin sucumbir a un optimismo tecnológico ingenuo. En esta incertidumbre es posible identificar algunas restricciones básicas que deberían guiar la actividad del diseño. Ejemplos de ellas son:

- **Mínima intervención:** de modo de reducir la probabilidad de generar comportamientos imprevistos en los sistemas naturales sólo se debe intervenir cuando es necesario y en el grado mínimo requerido.
- **Multidisciplinariedad:** se deben incluir tanto las partes científicas y técnicas inherentes en los proyectos, como las dimensiones

económicas, políticas, culturales, éticas y religiosas, resistiendo la actual tendencia a eliminar todo aquello que no puede ser cuantificado.

- Complejidad: las iniciativas deben considerar las características temporales y políticas del mundo real y evitar caer en simplificaciones resultantes de la aplicación de modelos con sesgos ideológicos ocultos.
- Escalabilidad: es necesario evaluar los sistemas en sus dimensiones reales ya que la complejidad propia de los sistemas ESEM no permite extrapolar directamente comportamientos exitosos en la pequeña escala.
- Reversibilidad: los cambios sugeridos deben ser incrementales y reversibles de modo de tener la capacidad de volver al estado inicial si se manifiestan problemas imprevistos.
- Resiliencia: los sistemas diseñados deben degradarse de manera gradual sin generar fallas desastrosas. No alcanza con generar redundancias sino que todo el sistema debe ser inherentemente seguro¹³.
- Participación e inclusión: dada la complejidad de las tareas de búsqueda de consenso a largo plazo y los peligros de caer en un imperialismo cultural, el modelo de gobierno de la ESEM debe ser democrático, transparente y controlado; fomentando y permitiendo la participación en igualdad de condiciones de todos los actores involucrados con los sistemas tecnológicos y sus consecuencias.

6. Conclusiones

Como señala la Organización de las Naciones Unidas, la búsqueda y consecución de un mundo sostenible debe pensarse necesariamente sobre la base de tres registros inseparables: disponer de un entorno ambiental viable que sea económicamente viable y socialmente equitativo.

Las nuevas orientaciones metodológicas de diseño y producción desplegadas hasta el momento dan muestra del hecho de que la ingeniería ha asumido el desafío de aportar a la construcción de un

¹³ Los sistemas redundantes minimizan la probabilidad de falla pero no las consecuencias de éstas una vez que ocurren.

mundo sostenible. Sin embargo también presentan evidencias de que aún queda camino por transitar.

Por una parte, no hay todavía consenso entre ellas en las cuestiones conceptuales sobre las que se basan. Discusiones acerca de si se deben emplear indicadores de eco-eficiencia o de eco-efectividad, o si se deben esperar nuevos conceptos derivados de la epistemología de los sistemas complejos, es aún materia de estudio interdisciplinar.

Por otra parte, todas ellas priorizan, como horizonte orientador, la cuestión medioambiental descuidando los otros aspectos que conforman la sustentabilidad ampliada o relegándolos a otros ámbitosⁱ.

Reconocer a la ingeniería como una actividad no neutral que actúa sobre el mundo y conforma modos de vida imprime una gran responsabilidad para los profesionales de la disciplina. Ya no puede concebirse pensar la sostenibilidad del planeta sin una comprensión amplia y profunda del fenómeno tecnológico y sus implicancias sociales y culturales.

Para la conformación de una nueva cultura de desarrollo sustentable de base científico-tecnológica no es suficiente con incluir consideraciones ecológicas en los diseños y procesos, sino que se deben considerar también, en pie de igualdad, los aspectos económicos, sociales y culturales, poniendo en cuestión toda la lógica subyacente en la construcción de artificialidad.

En este sentido las metodologías de diseño y producción se deben abrir de modo de considerar el desarrollo tecnológico en los planos señalados por la sustentabilidad ampliada buscando respuestas a una lista más amplia de interrogantes.

Referencias

1. Allenby, B., C. Folson, D. Allen y C. Davidson: "Sustainable engineering education in the United States", *Sustain Science*, 4, (4) (2009)
2. Block, M.: *Implementing ISO 14001*, ASQC, Milwaukee (1997)
3. Fiksel, J. (1997): *Ingeniería de diseño medioambiental: Desarrollo integral de productos y procesos ecoeficientes*, McGraw Hill, Madrid (1997) XIX
4. Braungart, M. y W. McDonough: *Cradle to cradle: Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*, McGraw-Hill, Madrid (2005)
5. Graedel, T. & Allenby, B.: *Industrial Ecology and Sustainable Engineering*, Prentice Hall, U.S.A. (2010)
6. Allenby, B.: *Reconstructing Earth: Technology and Environment in the Age of Humans*, Island Press, Washington (2005)

ⁱ Por ejemplo a la responsabilidad social corporativa o empresaria.