

# Disrupciones tecnológicas y crisis socioambiental: Los grandes desafíos de las ingenierías en Venezuela

## Technological disruptions and socio-environmental crisis: The big challenges of the Venezuelan engineering

MERCADO, Alexis <sup>1</sup>  
SÁNCHEZ-ROSE, Isabelle <sup>2</sup>  
CERVILLA, María Antonia <sup>3</sup>  
SÁNCHEZ, Rebeca <sup>4</sup>  
SIEM, Geovanni <sup>5</sup>  
COLINA, Belinda <sup>6</sup>

### Resumen

Las tecnologías convergentes inducen disrupciones sin precedentes en la estructura tecnoeconómica global, alcanzado, también, a las instancias responsables de la producción y transferencia del conocimiento. Las ingenierías son responsables importantes de estas transformaciones, experimentando, a su vez, cambios que trascienden lo tecnológico-científico ante la necesidad de orientar sus prácticas a la sustentabilidad. La ingeniería venezolana, afronta el desafío de asumir estas transformaciones en medio de una severa crisis, teniendo, además, la responsabilidad de contribuir a su superación.

**Palabras clave:** tecnologías convergentes, sustentabilidad, Ingeniería, Venezuela.

### Abstract

Convergent technologies generate disruptions that induce unprecedented changes on global socio-technical structure, including the instances responsible of generation and transference of knowledge. Engineering has a crucial responsibility in these changes, undergoing, in turn, changes that transcend the technological-scientific because of the need to guide their practices toward sustainability. Venezuelan engineering faces the challenge to assume these transformations in the midst of a severe crisis, also having the responsibility to contribute to overcoming it.

**Key words:** Convergent technologies, Sustainability, Engineering, Venezuela

---

<sup>1</sup> Centro de Estudios del Desarrollo, Universidad Central de Venezuela. Email: alexisms60@gmail.com

<sup>2</sup> Centro de Estudios del Desarrollo, Universidad Central de Venezuela. Email: abulafia2@gmail.com

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad Simón Bolívar, Venezuela. Email: mcervilla@usb.ve

<sup>4</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Venezuela. Email: rebecaucv@gmail.com; isalov1201@gmail.com

<sup>5</sup> Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Universidad Central de Venezuela. Email: geovanni.siem@gmail.com

<sup>6</sup> Facultad de Ciencias, Universidad del Zulia. Venezuela. Email: belcolina@gmail.com

## 1. Introducción

El inicio de la tercera década del siglo XXI encuentra a la humanidad frente a una comprometida situación socioambiental. El 11 de marzo de 2020, el Director de la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaraba la pandemia del virus COVID-19. A pesar de importantes medidas de contención, el virus se propagó rápidamente en todos los continentes, alcanzando cifras impresionantes de infecciones y decesos (Ferrer, 2020). Los severos confinamientos adoptados en la mayoría de los países trastornaron la dinámica social, paralizando las actividades laborales, educativas y culturales. La economía registró una severa caída, comparable a la originada por la crisis financiera de 2008. Varios países cerraron sus fronteras y se generó una crisis de suministro en diversas cadenas globales de producción (CEPAL, 2020).

El 2021, el Comité Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC en el original inglés), publicaba su sexto informe de evaluación climática global. A pesar de haberse registrado en el año anterior una ralentización de las emisiones globales de gases efecto invernadero debido al parón originado por la pandemia, proyecciones más confiables basadas en innovaciones y avances en climatología, proyectaban escenarios más graves del calentamiento global, estimándose que, de no asumirse acciones más drásticas para disminuir las emisiones, difícilmente se lograría limitar el calentamiento a 1,5° C por encima de la era preindustrial, escenario que permite estimar los impactos de los eventos climáticos extremos y limitar los riesgos sobre la biodiversidad y los ecosistemas. Pero, incluso, el escenario de calentamiento de 2° C, que incrementaría sustancialmente los riesgos, también sería un objetivo inalcanzable.

Estos acontecimientos ocurrían en medio de un extraordinario desarrollo de las denominadas tecnologías convergentes (nanotecnología, biotecnología, TIC's y ciencias del conocimiento) que contribuyen a la consolidación de la cuarta revolución industrial (4i), trastocando todos los ámbitos del quehacer humano. Esto plantea una gran paradoja: ¿Cómo a pesar de tantos avances tecnológicos y científicos se afrontan riesgos tangibles de un colapso civilizatorio?

En medio de tan complicada situación global, Venezuela afronta una crisis de una gravedad sin precedentes. Ocho años de continua contracción económica acabaron con tres cuartas partes de su PIB desde 2013 (CEPAL, 2021), llevando a un significativo aumento de la pobreza que en 2019 afectaba a 76 % de la población (ENCOVI 2020). La industria petrolera, columna vertebral de su economía, experimentó una brutal caída de la producción llegando a ubicarse en menos de 500.000 mil barriles para finales de 2020, una disminución de más de 80% respecto a 2014 y una sustancial pérdida de capacidades tecnológicas. Situación tan o más precaria presentan las industrias básicas, semiparalizadas y con altísimos niveles de obsolescencia, y el sector de los servicios con deficiencias tangibles, actividades todas prácticamente en manos de un gobierno que, aparte de ser responsable de su colapso, ha desestructurado al Estado. Por su parte, la educación, evidencia una disminución de la matrícula, pérdida de educadores y deterioro de la infraestructura. La cobertura educativa retrocedió en todos los niveles, pero principalmente en la educación superior (población entre 18 y 24 años), que en 2016 era 48%, cayendo a 25% en 2019 (Mercado, Ávalos, Sánchez-Rose, Cervilla, López y Vessuri, 2020).

Este panorama coloca grandes desafíos a las instituciones de producción, difusión y uso del conocimiento. En el caso que compete a este artículo, las ingenierías, son múltiples, ya que aparte de procurar su propia recuperación, les corresponde grandes responsabilidades en contribuir a la superación de la crisis que experimenta la estructura productiva y de servicios, y el desarrollo de capacidades tecnocientíficas que permitan al país incorporarse activamente en la 4i y afrontar los ingentes problemas socioambientales.

En el artículo se presenta, en primer lugar, una discusión sobre los alcances de las transformaciones tecnológicas de cobertura global caracterizadas por cambios sin precedentes en la estructura tecnoeconómica. Seguidamente,

se presentan y discuten las transformaciones que están experimentando las ingenierías destacando que, si bien las tecnologías disruptivas inciden de manera muy importante, estas van mucho más allá, debido a la necesidad de orientar la práctica de la disciplina dentro de los postulados de la sustentabilidad. Esto considera cambios inéditos en la formación, y en la producción y uso del conocimiento.

Finalmente, se presentan estos temas como desafíos para la ingeniería venezolana, aunados al importante papel que deberá desempeñar en la superación de la crisis que sufre el país. Estos adquieren dimensiones considerables al constatarse la importante pérdida de capacidades de producción, transmisión y uso del conocimiento. No obstante, esta difícil situación se convierte en una oportunidad, pues la recuperación, prácticamente desde los cimientos, podrá incorporar estas nuevas perspectivas y desarrollar formas de actuación colaborativas entre los diversos actores acorde con nuevas formas de producción de conocimiento.

---

## 2. Transformaciones sociotécnicas sin precedentes

Las innovaciones tecnocientíficas disruptivas están motorizando la difusión y consolidación de la cuarta revolución industrial (4i) trastocando todos los ámbitos del quehacer humano. Están cambiando las formas habituales de organización de la producción, la distribución y el consumo y transformando la generación, transmisión y uso del conocimiento, las formas de recreación y ocio e, incluso a nivel personal, las formas de relacionarnos y hasta la percepción de la realidad.

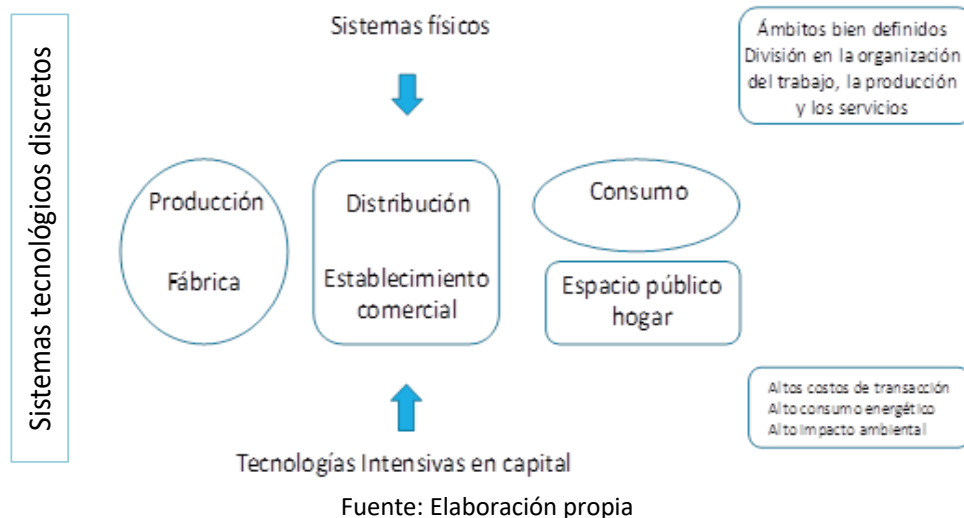
En el anterior paradigma tecnoeconómico, intensivo en el uso de materiales y energía, se establecía una diferenciación precisa de las diferentes actividades económico-productivas. Económicamente, esto se explicitaba en la clasificación por sectores: el primario, orientado a la obtención y primera transformación de recursos naturales (industrias básicas). El sector secundario, considera la transformación de los insumos o materias primas provenientes del sector primario mediante la manufactura. Y, hasta hace poco, el sector terciario, que considera la provisión de servicios en una vasta constelación de actividades cuyas competencias recaen tanto en el ámbito público como en el privado. Se advierte que hasta hace poco, porque algunas clasificaciones incluyen un sector cuaternario, relativo a la producción intelectual de bienes intangibles que redimensionan la organización y funcionamiento de las actividades de los otros sectores, constituyendo elemento fundamental de la llamada "economía del conocimiento" (Creditea, 2021).

La organización establecía delimitaciones claras entre los espacios y sus funciones. La transformación de los bienes primarios (producción industrial) se realizaba en la fábrica. Sus productos se distribuían a través de canales de comercialización cuyo espacio fundamental era el establecimiento comercial, en tanto que el consumo se verificaba en los espacios públicos y los hogares. Por su parte, los grandes sistemas tecnológicos (Hughes, 1987) estaban claramente delimitados, y aunque incluían una constelación de artefactos, infraestructuras, estructuras legales y cognitivas, entre otros, en ellos prevalecía un claro predominio disciplinario. Véase, por ejemplo, el sistema tecnológico de luz y energía eléctrica. Se trataba básicamente de sistemas físicos cuyo funcionamiento y control se realizaban desde su interior. La energía para la producción de electricidad provenía casi en su totalidad de tres fuentes (fósil, hidroelectricidad y nuclear) que se caracterizan por ser intensivas en capital y, por lo tanto, muy concentradas, y a las que se les asocia un alto riesgo e impacto ambiental. Por lo general, estas formas de organización implicaban altos costos de transacción (Figura1).

Las disrupciones tecnológicas propician el surgimiento de nuevas industrias y profundas transformaciones en las tradicionales. De hecho, la clasificación industrial internacional uniforme de todas las actividades económicas (CIIU) reconoce que cada vez surgen más problemas para organizar la información debido a que el desarrollo de nuevas tecnologías replantea la división del trabajo, impulsa el surgimiento de nuevas actividades y de industrias, planteando todo un desafío para la generación y uso de la información estadística. Esto resulta muy claro en las

tecnologías de la información y la comunicación, donde se procura, más bien, una clasificación por las características de los productos, continuamente en cambio, que por industrias (OECD, 2011).

**Figura 1**  
Estructura económico-productiva del paradigma  
tecnológico-económico. Organización tradicional



En la organización de la estructura tecnoeconómica emergente se desdibujan los límites entre los espacios de las actividades económicas y varían notablemente sus funciones. Ya la fábrica - la planta industrial - no es el espacio exclusivo para la manufactura. Como se vio, este puede ocurrir en la infraestructura de producción primaria, incluso en el ámbito mismo del usuario o el consumo (e.g. la impresión digital). La comercialización se realiza, cada vez más, desde un gran centro de almacenamiento directamente a los consumidores, en la que gran parte de la transacción se realiza por medios virtuales, llevando a la desaparición de las cadenas de distribución y los establecimientos comerciales. Esto genera cambios radicales en la organización del trabajo y en sus funciones (Figura2). No obstante, conllevan también impactos negativos asociados al desempleo estructural tecnológico e, incluso, a la exclusión social.

**Figura 2**  
Estructura económico-productiva emergente  
Cuarta Revolución industrial



Los sistemas tecnológicos ya no se aprecian claramente delimitados. Se trata ahora de sistemas ciberfísicos, entendidos como aquellos que comprenden componentes digitales, analógicos, físicos y humanos interactivos, diseñados para funcionar a través de la física y la lógica integradas (Grifford, según Greer, Burns, Wollman y Griffor, 2019). En ellos confluyen múltiples disciplinas, y su funcionamiento y control se realizan en forma descentralizada e, incluso, desde lugares diversos, planteando nuevos enfoques organizacionales, pero también, nuevos riesgos, entre los que destacan los ataques cibernéticos. Un ejemplo reciente, fue el que sufrió el sistema de Oleoductos de la costa Este de EE.UU en mayo de 2021 el cuál paralizó el transporte de 2,5 millones de barriles de combustible diarios por más de una semana y, transcurrido un mes, no había sido recuperado totalmente (BBC, 2021).

Las fuentes de energía se han diversificado. Por ejemplo, en el citado caso del sistema tecnológico de luz y energía eléctrica, aun cuando las fuentes tradicionales continúan respondiendo por un porcentaje mayoritario del suministro total, van siendo reemplazados por fuentes alternativas (e.g eólica, solar) y nuevos sistemas de almacenamiento. Estas tecnologías, si bien son intensivas en conocimiento, presentan ciertos atributos de flexibilidad que hacen que no lo sean necesariamente en capital. De manera general, presentan menores riesgos y potencial de impacto ambiental (Mercado y Córdova, 2020).

## **2.1. Las vulnerabilidades tecnoeconómicas que reveló la pandemia del COVID-19**

Estas transformaciones se han acelerado a causa de la pandemia. Pero como suele suceder en situaciones de crisis, avanzan en un marco de estructuras cognitivas e institucionales del anterior paradigma tecnoeconómico, que tienden a mantener los sistemas tecnológicos en trayectorias condicionadas por sus lógicas de producción y consumo, generándose importantes tensiones. Ello permite explicar por qué, aun cuando se introduzcan innovaciones radicales, no haya avances realmente claros hacia la sustentabilidad. La demostración más evidente es que el desacoplamiento entre el consumo de recursos y el crecimiento económico, que sería el indicador más concluyente de esta transición, sólo se da parcialmente en algunos de los países más desarrollados. Pero, como lo revela la evolución global de la explotación de recursos naturales, esta se acelera manteniéndose en niveles muy altos, tanto de los asociados al antiguo paradigma tecnoeconómico (e.g hierro, cobre, aluminio hidrocarburos, minerales no metálicos) que crecen a ritmo similar e, incluso, algo superior al de la economía, como la de los asociados a las tecnologías disruptivas (Niobio, Tántalo, Tierras raras, etc.) que, en este caso, crece a ritmo muy superior (Mercado y Córdova, 2018).

Adicionalmente, la pandemia desnudó una serie de problemas derivados de la excesiva subordinación de los planes y políticas del desarrollo a los imperativos económicos del crecimiento y la competitividad. Aparte del excesivo consumo de recursos que este conlleva, el abandono de actividades intermedias de la manufactura en muchos países, ha provocado vulnerabilidades estratégicas en sus cadenas de producción y distribución. La Unión Europea, como bloque, y algunos países han reconocido la gravedad de esta situación. Puede citarse el caso de Alemania, cuya industria farmacéutica, indiscutible líder mundial hasta finales del siglo XX, que, en medio de la pandemia del COVID-19, afrontó una severa escasez de medicamentos para su tratamiento. EL problema derivó de la interrupción de la cadena de suministros por parte de China que en la actualidad provee más del 90% de los principios activos usados en la elaboración de los medicamentos genéricos, y del 50% de los protegidos por patentes, de industria farmacéutica alemana.

Otro ejemplo notable es el de los semiconductores. La estructura que adquirió la cadena global de suministro permitió importantes ahorros a las empresas y la masificación de la producción en países con menores costos de producción (Varas y ortos, 2021). La Unión Europea, pasó de detentar el 44% de la producción mundial en 1990 a apenas el 10% en 2020. Esto generó cuellos de botella en importantes áreas de la actividad industrial, desde la fabricación de automóviles hasta las actividades energéticas. En respuesta, a finales de ese año se aprobó la

Iniciativa europea de tecnologías de semiconductores y procesadores, que propone un importante esfuerzo de desarrollo tecnológico intracomunitario. El Plan de recuperación y resiliencia (Recovery and Resilience Facility) coloca en sus prioridades crear capacidades de producción de conocimientos técnicos reforzando la I+D y el desarrollo de la infraestructura en tecnologías avanzadas de procesamiento y fabricación de semiconductores (EU, 2020). Así se evidencia que los esfuerzos de investigación, no garantizan necesariamente el desarrollo de capacidad productiva, si las estrategias económicas de las firmas se fundamentan básicamente en la maximización del beneficio a corto plazo y la competitividad.

## 2.2. Tecnologías convergentes

Las transformaciones sociotécnicas tienen su fundamento en el gran desarrollo de la tecnociencia, término que resalta la creciente imbricación entre estas actividades, y el desdibujamiento de sus fronteras. Cuatro áreas de conocimiento interdisciplinario (nanotecnología, biotecnología, TIC's y ciencias del conocimiento), a las que se les ha denominado tecnologías convergentes (TC) por la combinación sinérgica que se establece entre ellas, constituyen el núcleo de esta transformación. Cada una comporta un conjunto de tecnologías emergentes con potencial para generar disrupciones que pueden tener impactos de diverso alcance. Desde las que impactan en un mercado específico, o en un sector industrial, hasta las que pueden afectar toda la estructura económica e, incluso, cambiar sustancialmente normas e instituciones sociales (Schuelke-Leech, 2018).

TIC's y microelectrónica es, probablemente, el área más innovadora. Desde la introducción y difusión de la Internet - la disrupción más importante de la segunda mitad del siglo XX - se han desarrollado una constelación de tecnologías con capacidad para transformar todas las actividades del quehacer humano. El extraordinario poder que estas confieren en términos del manejo y almacenamiento de la información, del manejo y control de procesos en las industrias y los servicios, y la virtualización son, probablemente las que más han generado cambios económicos y sociales e, incluso, en la tecnociencia (cuadro 1).

**Cuadro 1**  
Tecnologías convergentes. Tecnologías disruptivas asociadas e impactos sobre la estructura tecnoeconómicas

Tecnología convergente	Tecnología (área) disruptiva asociada	Impactos en la estructura tecno-económica
TIC's Microelectrónica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inteligencia artificial</li> <li>Big data</li> <li>Internet de las cosas;</li> <li>Cloud computing;</li> <li>Computación cuántica</li> <li>Realidad virtual</li> <li>Control avanzado de procesos</li> <li>Almacenamiento híbrido en la nube</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consolidación de la tecnociencia</li> <li>Incremento de la eficiencia de los sistemas energéticos, la producción industrial y los servicios</li> <li>Cambios en la comercialización</li> <li>Nuevos Productos: Vehículos eléctricos; Artefactos portátiles</li> <li>Metaverso</li> </ul>
Nanotecnología	<ul style="list-style-type: none"> <li>Semiconductores</li> <li>Grafeno</li> <li>Nuevos materiales para estructuras</li> <li>Materiales avanzados para nanoelectrodos y celdas solares e iluminación Led.</li> <li>Circuitos integrados, supercapacitores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nueva generación de robots industriales</li> <li>Nuevos sistemas de producción, almacenamiento y distribución de energía</li> </ul>
Biotecnología	<ul style="list-style-type: none"> <li>Última generación de secuenciación genómica; Ómica unicelular</li> <li>Diferenciación, función y metabolismo de células</li> <li>Inmunoterapias para cáncer y alergias</li> <li>Biocombustibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agricultura de precisión, cambios en la producción de alimentos</li> <li>Avances sustanciales en la salud humana</li> </ul>
Ciencias del Conocimiento y neurotecnologías	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inteligencia artificial soportada en la ciencia cognitiva</li> <li>Tecnología de salud móvil (<i>mhealth</i>)</li> <li>Redes sociales interactivas</li> <li>Control social de la tecnología</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Remediación ambiental</li> <li>Combustibles limpios</li> <li>Interfaces ser humano – maquinas</li> <li>Redes sociales interactivas</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

Pero su gran desarrollo ha sido posible por los avances en el área de materiales que permiten elaborar microprocesadores y sistemas de almacenamiento de información sin los cuales la revolución microelectrónica sería impensable. En ese sentido, la nanotecnología ha jugado un papel determinante, pero ejerce impactos más amplios, contribuyendo a transformar múltiples actividades económicas y sociales gracias al desarrollo de fuentes de energía autónomas que posibilitan elaborar nuevos dispositivos cada vez más pequeños (miniaturización). Tan o más importante, es su contribución en la transformación de los sistemas energéticos creando los materiales necesarios para el desarrollo de nuevas fuentes de energía y de artefactos para su almacenamiento, distribución y uso (cuadro 1).

La biotecnología, además del potencial transformador en múltiples actividades, constituye un área de controversia por las implicaciones éticas que conllevan sus desarrollos. El gran desarrollo tecnológico sustentado mayoritariamente en los avances de la ingeniería genética, se han visto potenciados mediante la combinación con otras TC, especialmente con las TIC's y la nanotecnología. De hecho, se ha establecido una denominación específica para la interacción entre estos campos – la bioconvergencia - que enfatiza la sinergia de la biotecnología con la ingeniería/tecnología y los sistemas computarizados (BICO, s.f.), cuyos desarrollos tienen aplicabilidad y efectos disruptivos en áreas muy diversas que, entre otras, consideran la medicina, la producción agropecuaria y las industrias de alimentos y farmacia, y la energía mediante la producción de biocombustibles. Tienen, también, función importante en la remediación ambiental (cuadro 1).

Finalmente, las ciencias del conocimiento, en las que se integran e intersectan las neurociencias con otras áreas de conocimiento como la psicología y la sociología, desempeñan una doble función en los procesos convergentes, en la medida que producen tanto conocimiento científico y tecnológico, como conocimientos que contribuyen al debate social sobre los impactos, alcances y límites que deben tener las TC. Por ejemplo, abren nuevas exploraciones en las TIC's mediante la complementación de algunos procesos cognitivos y la adopción de elementos de la cognición natural para resolver problemas de procesamiento de información en áreas como la inteligencia artificial y agentes de software (cuadro 1). En cuanto al segundo aspecto, se destaca su importancia en contribuir al análisis de los impactos de las visiones de las TC en el mundo real, la consideración de elementos éticos y problemas críticos desde la perspectiva de evaluación de tecnologías y la incorporación de otras narrativas en el debate de sobre su desarrollo (Andler, Barthelmé, Beckert, Blümel, Coenen, Fleischer, Friedewald, Quendt, Rader, Simakova y Woolgar, 2008).

Es evidente que el poder transformador de estas tecnologías se incrementa por la complementación de conocimientos que impulsa la innovación. Esta tendencia puede encuadrarse dentro del “modo 2” de producción de conocimientos descrito por Gibbons y otros (1994), caracterizado por ser transdisciplinario, y ser generado en un amplio contexto de aplicación. Emergen aquí algunas interrogantes ¿estos cambios implican una transformación radical del concepto mismo de disciplinas? ¿Cambia la ingeniería en cuanto a disciplina que emplea los conocimientos tecnológicos y científicos para generar tecnologías y aplicaciones para la producción de bienes y la solución de problemas? ¿estos cambios, comportan en sí mismos elementos transformadores que contribuyan a la sustentabilidad?

---

### 3. Transformación de las ingenierías

El desarrollo de las ingenierías basadas en la ciencia, generó interdependencias entre la ciencia y la tecnología, desdibujando los límites entre estas actividades y contribuyendo al desarrollo de la tecnociencia (Channell, 2019). En la actualidad, gran parte del aluvión de innovaciones disruptivas se generan en el seno de las ingenierías que, a su vez, experimentan transformaciones significativas en sus formas de generar, transmitir y aplicar los conocimientos.

Pero estas transformaciones trascienden lo tecnocientífico. Los graves problemas socioambientales globales presionan no sólo la incorporación de estos temas en la formación y la actividad profesional, sino que plantean una redefinición del papel de la ingeniería en la sociedad. Esta debe trascender más allá de las propuestas técnicas a la solución de problemas, promoviendo enfoques transdisciplinarios que consideren la co-creación de conocimientos con otras disciplinas e, incluso, involucrarse activamente en la discusión de los problemas éticos del desarrollo tecnológico y hasta en la elaboración de propuestas políticas sobre el desarrollo. A continuación, se presentan y discuten estos cambios en el marco de los acuciantes problemas socioambientales.

### 3.1. Cambios en la formación

Se han identificado importantes fuerzas transformadoras que presionan los cambios en la ingeniería entre las que destacan la globalización-digitalización, la horizontalización de la economía y la fusión de culturas técnicas, económicas y sociales (Kamp, 2016). A ello se agregan las presiones que desde diversos ámbitos (global, regional, nacional y local), se generan para atenuar los impactos ambientales y sociales de las actividades económico-productivas.

Como se indicó, esta disciplina viene siendo fuertemente impactada por las transformaciones tecnológicas disruptivas. Pero demandas sociales, económicas y ambientales globales impulsan también modificaciones tanto en la formación como en el ejercicio profesional. En algunos ámbitos académicos (Kamp, 2016), se indica que para 2030 la formación se fundamentará en 8 elementos clave que cambiarán notablemente el perfil profesional (Cuadro 2).

Una premisa inamovible de la formación en ingeniería continuará siendo la rigurosidad del conocimiento de los fundamentos básicos de la disciplina. Sin embargo, esto constituye una parte del nuevo paradigma de formación en el que se incorporan nuevas competencias y se procura generar nuevas actitudes. Es necesario inducir formas de pensar que promuevan la creatividad y la iniciativa con sentido crítico (no estructuradas fundamentalmente en la resolución de problemas) y de carácter multidisciplinario - más bien transdisciplinario - que se adecue a los contextos de aplicación de los conocimientos (compromiso profesional con las diversas comunidades de aprendizaje y otros *stakeholders*) (Cuadro 2). Se requiere, por tanto, cambiar el actual enfoque de la formación, basado en el conocimiento técnico académico, hacia uno transdisciplinario que combine estos conocimientos con el análisis de problemas sociales, de sustentabilidad y el aporte a sus soluciones (UNESCO, 2021).

**Cuadro 2**  
Elementos clave para la formación  
en ingeniería en 2030

1.	Rigor en el conocimiento de la ingeniería
2.	Pensamiento crítico y no estructurado en la resolución de problemas
3.	Pensamiento multidisciplinario y sistémico
4.	Imaginación, creatividad e iniciativa
5.	Comunicación y colaboración
6.	Mentalidad: diversidad y movilidad
7.	Aprendizaje cultural amplio: compromiso profesional con las diversas comunidades de aprendizaje
8.	Aprendizaje a lo largo de la vida

Fuente: Kamp (2016)

Pero una cuestión cardinal es ¿cómo se incorporan estos elementos en la actividad formativa? En estudio elaborado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) se destaca que los programas de formación en ingeniería deben pensarse extramuros, y aquí la interacción con actores externos es crucial a objeto de explicitar



sus requerimientos e, incluso, participar en la discusión y elaboración de los programas a objeto de alcanzar una mayor pertinencia social. Para ello se deberá enfatizar en el aprendizaje transdisciplinario.

Esto debe hacerse en momentos en el que la tecnología se transforma y se hace más compleja, algo a tomar en cuenta para el aprendizaje. Se deberá estimular a los estudiantes para que adquieran una visión integral que, partiendo de la comprensión de problemas complejos, sobre los que generalmente hay escaso o ningún conocimiento, y la búsqueda de soluciones, tampoco conocidas, les permita aprovechar las habilidades técnicas adquiridas para su abordaje. Ello requiere ampliar los espacios de formación, siendo que parte importante de estos deberán estar fuera de las aulas y de las nociones disciplinarias tradicionales de la ingeniería (Graham, 2018).

Lo anterior, es un elemento clave de la transformación curricular de las instituciones exitosas, que contemplan el aprendizaje basado en el trabajo y la participación en proyectos de diseño relevantes para la sociedad en sus programas de formación. Ello contribuye a dotar al estudiante de una sólida base de conocimientos, pero promueve el desarrollo de capacidad de reflexión que le permitirá contextualizar la aplicación del conocimiento y las habilidades adquiridas en lugares y situaciones diversas (Graham, 2018).

Esto supone, también, el desarrollo de capacidades de trabajo colaborativo. La habilidad para participar y conformar equipos de trabajo multidisciplinarios eficaces, emerge como un atributo fundamental del aprendizaje de los estudiantes de ingeniería. Tal es su importancia, que es identificada por empleadores como un factor clave para el desempeño de las organizaciones. A tal punto que se reconoce que carecer de personal que posea esta habilidad puede poner en riesgo, incluso, la supervivencia misma de las empresas (Hussein y otros, 2018).

En el estudio del MIT se citan algunos ejemplos relevantes de estos nuevos modos de organización de la formación. Está el de la Universidad de Tecnología y Diseño de Singapur, cuyo currículo de ingeniería se conforma en torno a proyectos de diseño multidisciplinarios, que contextualizan e integran el aprendizaje en los diferentes cursos durante, prácticamente, todos los años de estudio. Está, también, el de la Facultad de Ciencias de la ingeniería de la UCL (*University College of London*), cuyo currículo durante los dos años iniciales de la carrera, se organiza en ciclos de cinco semanas en los que se combina la impartición de conocimientos y habilidades (cuatro semanas) que, seguidamente, se contextualizan y aplican en proyectos intensivos de diseño de una semana. Es de hacer notar que algunas de las instituciones que lideran estos procesos se localizan en países emergentes, desplazando un poco el centro de gravedad desde las instituciones que tradicionalmente han ejercido el liderazgo en la formación de la ingeniería (Graham, 2018).

Destaca el énfasis en promover nuevas formas de pensar y actitudes desde el inicio mismo de la formación. Véase el caso de la Escuela de ingeniería (*School of Engineering and built Environment*) de la Universidad de Griffith (Australia). Esta institución introdujo la materia “ingeniería creativa” como electiva para el cuarto año de la carrera en 2014. Posteriormente se introdujo como obligatoria en el primer año. Su objetivo es presentar a los estudiantes que se inician en la carrera la contextualización de problemas, con los riesgos e incertidumbres asociados, propiciar el pensamiento divergente, el proceso de diseño iterativo y las prácticas convergentes, (Loy y Canning, 2017). Todas estas experiencias evidencian el énfasis en el aprendizaje por la experiencia, y que ya es un hecho la superación de las concepciones que establecían la formación en la ingeniería por áreas disciplinarias.

### **3.2. Implicaciones para las IES venezolanas**

Lo anterior plantea importantes desafíos para el funcionamiento y desarrollo de las ingenierías en las Instituciones de Educación Superior (IES) del país. Estas, en particular las universidades nacionales, se han caracterizado por presentar estructuras muy conservadoras, y disciplinariamente compartimentalizadas, lo cual

ha constituido un obstáculo para implantar formas de producción, transmisión y uso del conocimiento transdisciplinarias, siendo esto muy notable en las áreas de ciencias y las ingenierías (Mercado, 2005). A ello habría que agregar que el deterioro experimentado por estas instituciones en los últimos años perjudicó, notablemente, los contados esfuerzos que se realizaban en esta dirección.

La severidad de la crisis que confrontan las IES puede convertirse en una oportunidad. Los esfuerzos de recuperación pueden, y deben, considerar la implementación de estos nuevos modelos de formación y de producción y difusión del conocimiento. Las precarias condiciones tanto de la oferta (las IES) como de la demanda (la industria y los servicios), extremadamente difíciles de superar si se pretende hacerlo de manera particular, puede constituir un espacio colaborativo en el que se implementen transformaciones curriculares que propicien, un aprendizaje basado en el trabajo y la participación en proyectos de innovación útiles para las empresas u otras instituciones externas.

La conjunción de necesidades de ambos sectores puede propiciar la interacción, teniendo en mente la renovación y flexibilización de los programas de formación para procurar tener en las unidades productivas espacios para el trabajo práctico en función de los problemas que confronten. Estudios realizados recientemente comprueban que esto es identificado por ambos sectores como una prioridad, a partir de lo cual se pueden enunciar algunas políticas y estrategias institucionales para avanzar en tal fin<sup>7</sup>.

### **3.3 Transformando las ingenierías para el desarrollo sustentable**

Es evidente que la ingeniería contribuyó a conformar el perfil insustentable de la actual estructura tecnoeconómica. A inicios del presente siglo, en algunas instituciones líderes en la formación y la investigación se planteó corregir el rumbo. En el MIT, se preguntaba si la ingeniería, en tanto actividad como profesión, se podía reorientar hacia el logro de la sustentabilidad. Una preocupación importante en ese momento era como superar las resistencias a la introducción de estos temas en la formación, lo que requería un fuerte apoyo institucional, so pena de ser marginado al intentar integrarlo en todo el currículo y las disciplinas tradicionales (Ashford, 2004). En otras palabras, como abrirse espacio en estructuras disciplinarias estancas, basadas fundamentalmente en el conocimiento técnico académico; como avanzar, en una primera etapa, a la interdisciplinariedad.

Esto, incluso, ha llevado a plantear la necesidad de superar las aproximaciones usuales de la ingeniería a la “sustentabilidad”, limitadas a la implementación de medidas técnicas por ingenieros, con base a experticia puramente técnica que tienden a mantener los cuestionables límites impuestos entre la tecnología y la sociedad (Bell y otros, 2011).

Recientemente la UNESCO publicó el informe sobre la educación en ingeniería para el futuro, según el cual esta debe ser pensada, y es crucial, para el desarrollo sustentable. Coloca una vara alta a la profesión al destacar que su papel es vital para la satisfacción de necesidades humanas básicas como la disminución de la pobreza, la provisión de servicios esenciales y energía, respuestas a desastres naturales, la construcción de infraestructuras resilientes y la disminución de las brechas del desarrollo (UNESCO, 2021).

Esto plantea desafíos importantes en lo formativo. Se deberá procurar que los estudiantes aprendan como analizar y resolver problemas que confronta la sociedad y para el desarrollo de tecnologías que mejoren la calidad

---

<sup>7</sup> Ambos aspectos son desarrollados en dos artículos publicados en este mismo número.

de vida en forma sustentable (UNESCO, 2021). Se trata, claramente, de una perspectiva transdisciplinaria. Avanzar en esta dirección requiere de los cambios en la enseñanza presentados en el acápite anterior, probablemente necesarios, pero no suficientes, si se pretenden transformaciones sociotécnicas para avanzar efectivamente hacia el desarrollo sustentable. En tal sentido, las siguientes preguntas resultan procedentes: ¿Por qué los ingenieros deben formarse para la sustentabilidad? ¿Qué deben aprender los ingenieros en las universidades con relación a la sustentabilidad? ¿Cómo pueden los ingenieros aprender las competencias requeridas para convertirse en agentes impulsores de la sustentabilidad? (Segalás, 2008)

El por qué tiene que ver con la necesidad de una formación integral para que el ejercicio profesional, en sentido amplio, genere resultados acordes con la sustentabilidad y que contribuyan a mejorar la salud y el bienestar humano. La sustentabilidad no es algo que se agrega a un currículo, seguramente ya muy recargado, sino una manera diferente asumir la pedagogía, el cambio organizacional, la política y, principalmente el *Ethos* (Sterling, 2005, según Segalás, 2008).

El qué, con las cualidades que debe tener el ingeniero para asumir la sustentabilidad. En la Declaración de Barcelona de la Conferencia sobre Educación en ingeniería para el desarrollo sustentable (2004), se establece que los ingenieros deben ser capaces de:

- Comprender como la ingeniería interactúa con la sociedad y el ambiente, local y global, a fin de identificar desafíos, riesgos e impactos
- Comprender el aporte de la actividad en diferentes contextos culturales, políticos y sociales
- Trabajo en equipos multidisciplinarios a fin de modificar la tecnología actual para hacer posible un uso más eficiente de recursos, la prevención de la contaminación y gestión de residuos.
- Enfoque holístico y sistémico para resolver problemas y trascender visiones compartimentalizadas
- Participar activamente en la discusión y definición de políticas, económicas, sociales y tecnológicas que ayuden a reorientar la sociedad hacia la sustentabilidad (Segalás, 2008).

En cuanto a las competencias requeridas en los tres dominios del aprendizaje para actuar en consonancia con el desarrollo sustentable en las instituciones de educación superior, parece haber un consenso respecto a las siguientes (Cuadro 3).

**Cuadro 3**

Competencias requeridas por dominios de aprendizaje en las instituciones de educación superior en consonancia con el desarrollo sustentable

Dominio del aprendizaje	Competencias
Comprensión y conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Situación global, crisis socioambiental</li> <li>– Causas de la insustentabilidad</li> <li>– Fundamentos de la sustentabilidad</li> <li>– Herramientas para el desarrollo sustentable</li> <li>– Ciencia, tecnología y sociedad</li> </ul>
Habilidades y destrezas	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Autoaprendizaje</li> <li>– Cooperación y transdisciplinariedad</li> <li>– Pensamiento sistémico</li> <li>– Pensamiento crítico</li> <li>– Participación social</li> </ul>
Actitudes	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Responsabilidad y compromiso con el Desarrollo Sustentable</li> <li>– Respeto, sentido ético y cultura de paz</li> <li>– Preocupación y conciencia del riesgo</li> </ul>

Fuente: Segalás, 2008

Se trata entonces de una transformación radical de la formación, que dé como resultado un ingeniero con una visión más amplia y, sobre todo, consciente del alcance e impacto de su actividad. Esta, deberá estar guiada por criterios sólidos de responsabilidad y ética. En otras palabras, la nueva formación lleva implícita la conformación de un *Ethos* de la sustentabilidad.

### 3.4. La práctica profesional

El ingeniero debe afrontar una realidad compleja, en la que las transformaciones tecnológicas y los graves problemas socioambientales trastocan lo que hasta ahora fue el ejercicio profesional. En lo concerniente a los conocimientos técnico-académicos, aparte del dominio de los fundamentos básicos de la disciplina, el ingeniero deberá manejar importantes herramientas de las tecnologías convergentes. Debe tenerse en cuenta que la Inteligencia artificial (IA), la *Big data* y la Internet de las Cosas (IOT) son impulsores transversales de la innovación en la industria y los servicios, llevando a su transformación a sistemas ciber-físicos. Además del citado ejemplo del sistema tecnológico de luz y energía eléctrica puede citarse la arquitectura y la construcción. El modelado de Información de Construcción (*Building Information Modelling, BIM*) ha multiplicado su alcance y eficacia gracias a la Inteligencia Artificial, pudiendo materializar ideas que eran apenas imaginables dos décadas atrás para estas disciplinas. Su integración con la robótica provee las bases para sistemas de construcción completamente nuevos que están creando un ecosistema de innovación inédito, con participación importante de empresas especializadas en la aplicación de tecnologías de información y automatización desarrolladas en otras industrias, denominado "*Construction Tech*" (Sacks y otros, 2020). También, las industrias de procesos, en las que su incorporación incrementa las posibilidades de óptimos desempeños funcionales, que pueden alargar el tiempo de vida útil de los equipos y disminuir las inversiones de capital, generando ahorros que se adicionan a los beneficios atribuibles a las mejoras de la productividad. Por otra parte, la nanotecnología y la automatización avanzada pueden contribuir con el rediseño y la integración de procesos, modificar las escalas y diversificar la producción (Görner y otros, 2020), factores que pueden traducirse en incrementos en la eficiencia en el uso de los recursos y la disminución del impacto ambiental.

Finalmente, el desarrollo de las competencias y actitudes que determinan el desempeño del ingeniero, deben ajustarse a los imperativos de la sustentabilidad. Esto ha llevado a establecer principios de actuación. Un ejemplo es la Guía para la Sustentabilidad del *Engineering Council (2021)* de Gran Bretaña, elaborada para aquellos que se desempeñan en todos los roles de la ingeniería, en los diferentes sectores e, incluso, para las diferentes etapas de la vida profesional. En seis principios fundamentales se establece claramente que la actuación y la responsabilidad del ingeniero va mucho más allá del proyecto y del transcurso temporal de su desarrollo. Su trabajo debe ajustarse a los principios del desarrollo sustentable, por lo que deberá tener amplio conocimiento de los mismos, así como de elementos científico-técnicos y normativos mínimos. Esto requiere asumir una actitud proactiva y responsable que, tomando en cuenta los múltiples elementos del contexto, le permita abordar problemas y proponer soluciones que, incluso, vayan más allá del cumplimiento de la legislación y la regulación (Cuadro 4) (Engineering Council, 2021).

**Cuadro 4**  
**Guía para la sustentabilidad (Engineering Council- UK)**

Principios	Requerimientos para cumplimiento
Contribuir a la construcción de una sociedad sustentable en el presente y el en futuro	Aunque su actividad sea local e inmediata, reconocer que sus impactos potenciales pueden ser globales y duraderos. Comprender todas las implicaciones de la sustentabilidad a lo largo del ciclo de vida de productos, procesos o sistemas. Comprender otras estructuras sociales y culturales relevantes fuera de la propia comunidad de practicantes Ser proactivo, contribuir e influir positivamente en el desarrollo sustentable de las comunidades, locales o globales
Aplicar un juicio profesional y responsable y asumir un papel de liderazgo	Considerar el contexto amplio de su trabajo Estar consciente de que existen aspectos inherentemente conflictivos y no mensurables de la sustentabilidad Enfoque de pensamiento sistémico Presentar problemas, opciones y soluciones a decisores que permitan decisiones acertadas, congruentes con la sustentabilidad Liderar con el ejemplo, influir en otros para mejorar su desempeño en función de la sustentabilidad
Cumplir más allá de lo establecido en la legislación y las normas. Estar preparado para cambios en el statu quo	Esforzarse por ir más allá del mínimo siempre que sea posible, anticipándose a legislaciones futuras que puede ser más estricta Cuestionar los estándares actuales y procurar mejoras Impulsar el desarrollo de legislación y normas futuras en consonancia con los principios del desarrollo sostenible Alertar a las autoridades si cambios regulatorios pueden generar nuevos problemas que afecten la práctica de la ingeniería sostenible
Uso efectivo y eficiente de los recursos	Minimizar cualquier impacto adverso en la sostenibilidad en la etapa de diseño Diseñar y utilizar productos, procesos y servicios con el menor consumo posible de materias primas, agua, energía y otros recursos Evaluación del ciclo de vida como práctica normal en la cadena de suministro, para estimar las implicaciones ambientales de los proyectos Aplicar los principios de economía circular promoviendo la eliminación de residuos y contaminación, y el uso continuo y seguro de los recursos durante el mayor tiempo posible Adoptar estrategias de reúso y reciclaje, el desmantelamiento y la eliminación segura de componentes y materiales. Promover la remediación de daños y afectaciones pasados
Procurar múltiples visiones para asumir los desafíos de la sustentabilidad	Compromiso proactivo con todos aquellos que puedan verse afectados, positiva o negativamente, por las soluciones propuestas Incorporar a quienes tradicionalmente no tienen voz en el desarrollo de soluciones de ingeniería. Escuchar y reconocer el valor de otras perspectivas Emplear conocimientos y experiencia interdisciplinaria, así como diversas habilidades en todas las etapas de un proyecto Considerar los potenciales impactos de los proyectos para las futuras generaciones Procurar un enfoque equilibrado de los problemas
Gerenciar el riesgo para minimizar los impactos adversos y maximizar beneficios para las personas y el ambiente	Realizar una evaluación integral de riesgos y beneficios antes de comenzar un proyecto y después de su finalización. Incluir los riesgos y beneficios de los impactos ambientales, económicos y sociales más allá de la vida útil del proyecto, producto o servicio Esforzarse por garantizar un suministro responsable y ético Considerar los riesgos potenciales del uso del producto o servicio, para prever la mitigación en la etapa de diseño Priorizar los objetivos de sostenibilidad, aun cuando el conocimiento científico no sea concluyente, aplicando el principio de precaución Promover la adopción de sistemas de monitoreo para que todos los impactos del proyecto se identifiquen en una etapa temprana

Fuente; elaboración propia, basado en Engineering Council (2021)

Desde el punto de vista técnico y del ejercicio profesional, un gran desafío es el uso eficiente de los recursos, de allí la importancia de formarse dentro de los postulados de la sustentabilidad. Ello implica una actuación responsable que procure minimizar los impactos adversos a la salud y al ambiente durante todas las etapas de un proyecto, el diseño y uso de productos ecológicos, la evaluación del ciclo de vida, la adopción de prácticas de reúso y reciclaje, y la adopción de los principios de economía circular (Cuadro 4).

Y esto trasciende los ámbitos usuales de la ingeniería, debiendo interactuar activamente con otras comunidades de conocimiento y actores sociales que tradicionalmente han sido vistos ajenos al desarrollo del proyecto o, de manera más general, de la tecnología. Tener la habilidad para participar y conformar redes multidisciplinarias que incluyan ecologistas, activistas ambientales, promotores sociales, agencias gubernamentales, miembros de la opinión pública y eventuales usuarios o afectados por su actividad (Adanowski, 2012). Esto puede abrir

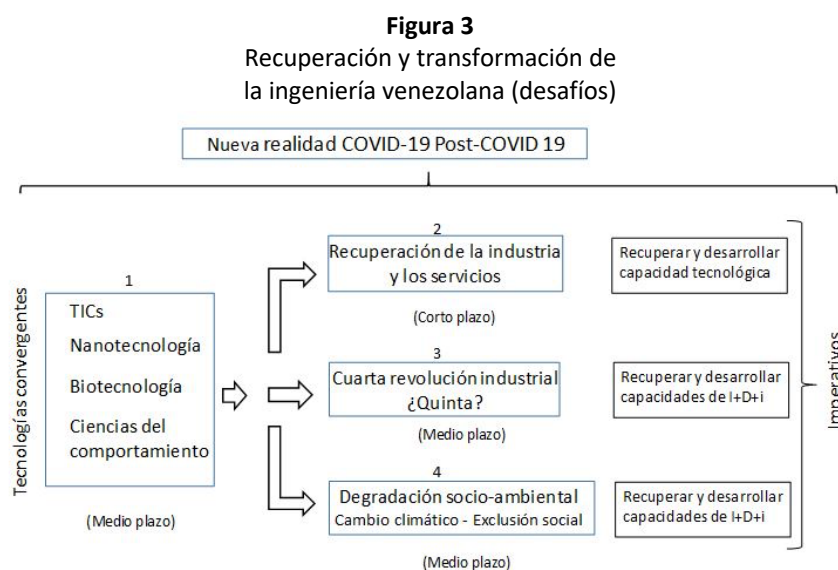
oportunidades para ampliar los enfoques en la exploración de problemas y sus soluciones, y de alcanzar formas consensuadas de gerenciamiento de los riesgos y minimización de los impactos sobre las personas, demás seres vivos y el ambiente (Cuadro 3).

#### 4. Los desafíos de la ingeniería venezolana

Venezuela ha sufrido una importante pérdida de profesionales y técnicos en todo el SNCTI. Se estima que más de cuatro mil investigadores y doscientos mil ingenieros salieron del país en los últimos veinte años (Mercado, Ávalos, Sánchez-Rose, Cervilla, López y Vessuri, 2020). En consecuencia, el país se encuentra en condición muy precaria para afrontar la 4i y los problemas socioambientales discutidos a lo largo del artículo.

Avanzar en la recuperación y la transformación de las ingenierías en Venezuela requiere necesariamente priorizar los problemas–desafíos más apremiantes y, en función de ellos, pensarse acciones específicas para comenzar a recuperar las capacidades tecno-científicas que contribuyan a afrontarlos. De manera general se identifican cuatro grandes temas, uno local, muy urgente y de muy corto plazo, y tres globales, cuyo abordaje requiere de una perspectiva de mediano plazo, pero cuyas acciones deben ser emprendidas desde ya (Figura 3).

Las tecnologías convergentes (desafío 1), su absorción y desarrollo por parte de los diversos actores o componentes del SNCTI, es un tema impostergable pues, como se indicó, no sólo inciden transversalmente sobre los diversos ámbitos de la industria y los servicios, potenciando la cuarta revolución industrial, o ya la quinta como sugieren algunos autores (George y Hovan George, 2020), sino que son fundamentales para el abordaje de los graves problemas de degradación socioambiental (cambio climático, exclusión social) que en el país son alarmantes. Incluso, en lo inmediato, algunos de sus desarrollos, especialmente en las TICs, pueden contribuir a la recuperación de la industria y los servicios y aminorar el impacto ambiental de las actividades antrópicas, tareas ineludibles (figura 3).



Fuente: Elaboración propia

En el ámbito de las IES, deberán implementarse acciones que posibiliten la incorporación de las TC en los programas de formación y estimulen iniciar y/o reforzar líneas de investigación en las diferentes tecnologías disruptivas. Evidentemente, esto requiere recuperar la diezmada planta académica y la infraestructura, pero, también, superar concepciones disciplinarias estancas y asumir las nuevas dinámicas de enseñanza que redefinen el perfil y la práctica profesional del ingeniero.

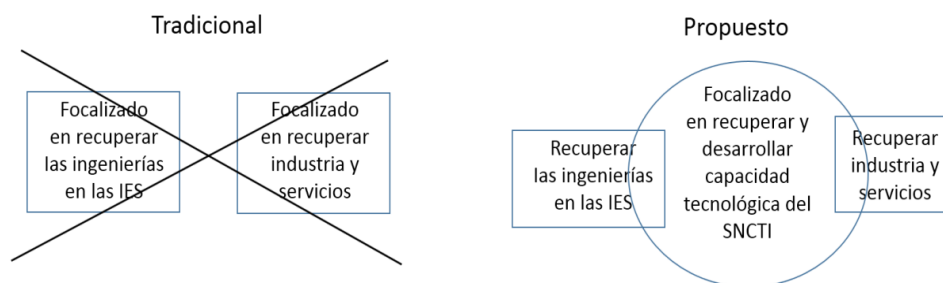
La recuperación de la industria y los servicios (desafío 2) debe, en el corto plazo, centrarse en recuperar operatividad y la capacidad tecnológica necesaria para ello. En Venezuela, históricamente, la mayoría de las empresas, mediante esfuerzos de aprendizaje tecnológico (Pirela, 1996), adquiría capacidad de uso y operación, aunque, en algunos casos de ingeniería y diseño y, excepcionalmente, de Investigación y desarrollo (Bell, 2007). Esto permitió conformar una estructura económica que, si bien se sustentaba marcadamente en el petróleo, desarrolló diversas agrupaciones industriales y de servicios, que garantizaban la producción de bienes para satisfacer necesidades de la población. Recuperar estas capacidades y avanzar en las transformaciones para que la industria y los servicios del país se incorporen plenamente en la 4i (desafío 3), demanda considerables esfuerzos de ingeniería. Pero bajo los nuevos enfoques en la formación, en el desarrollo tecnológico y en la práctica profesional que consideren los imperativos del desarrollo sustentable. En este sentido, las contribuciones de las IES serán decisivas.

Sin obviar la crítica situación existente tanto en la oferta (IES) como en la demanda (industria y servicios), sobreviven discretas pero importantes capacidades de producción, transferencia y uso del conocimiento. Las grandes necesidades que en ambas existe, pueden constituir oportunidades para identificar espacios colaborativos en los que los esfuerzos para cubrirlas modifiquen los comportamientos estancos que han prevalecido hasta ahora.

Esto constituye todo un desafío ¿Cómo comenzar a responder de forma expedita y adecuada a estas demandas y transformaciones? Es evidente que la situación actual, y futura mediata, torna prácticamente imposible aspirar a soluciones usuales (viejas ideas favoritas) desde y para cada ámbito. En las IES, se debe superar la idea de depender exclusivamente de adecuados presupuestos por parte del Estado para mejorar las condiciones de la docencia y la investigación con una perspectiva disciplinaria intramuros. En la industria, superar la visión de recuperar capacidad productiva mediante la adquisición de tecnología en el exterior, sin prestar mayor atención al desarrollo tecnológico. Así, se deben proponer acciones para recuperar y desarrollar capacidades de investigación y desarrollo tecnológico del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, crear espacios colaborativos entre las IES y las empresas donde se expliciten las necesidades y haya intercambio de conocimientos (figura 4). La ingeniería ocupa lugar central en el desarrollo de estas propuestas.

**Figura 4**

¿Cómo comenzar a responder de forma expedita y adecuada a estas demandas y transformaciones?



Fuente: Elaboración propia

## 5. Un esfuerzo de aproximación

Avizorar las grandes transformaciones tecnológicas, estimar su impacto en una Venezuela signada por una profunda crisis en todos sus ámbitos, y proponer acciones para avanzar en la recuperación y transformación de las capacidades tecnológicas del SNCTI enfocadas en la ingeniería, ha sido el objetivo del proyecto "Recuperación de la formación y la investigación y desarrollo en Ingeniería para afrontar la crisis y las transformaciones

tecnológicas disruptivas”, adelantado por un grupo de investigación conformado por profesores de varias universidades nacionales con el apoyo de la Cámara Venezolana de la Industria de los Alimentos (CAVIDEA), la Cámara Venezolana de Empresas de Consultoría (CAVECON) y de la Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat (ANIH).

Se trata, no sólo de identificar y proponer acciones que apunten a la recuperación y la transformación de las ingenierías en las IES, considerando tanto sus componentes internos (capacidades de formación y producción de conocimientos, infraestructura etc.) como externos (redes de conocimiento, interacción con usuarios, estructuras de apoyo, etc.), sino de proponer nuevas formas de relación entre los diferentes actores que permitan superar las conductas tradicionales que impiden el trabajo colaborativo. Formas en las que se generen conocimientos pertinentes y adecuados a los contextos sociales, tecnológicos y económicos de aplicación. Por ejemplo, como se mostró, los espacios de formación deben trascender el aula y los límites disciplinarios. El ámbito productivo de las empresas en Venezuela, con múltiples requerimientos técnicos y organizativos para recuperarse y transformarse, constituye un espacio importante para la formación mediante la generación de soluciones.

Ampliando el alcance, y en concordancia con la necesidad de adelantar las transformaciones, interactuar con otras comunidades de conocimiento y actores sociales será fundamental para el abordaje de los severos problemas socioambientales que confronta el país.

Finalmente, reconociendo que los esfuerzos deben ser multidisciplinarios e intersectoriales, no debe soslayarse que la industria de los hidrocarburos continuará siendo elemento primordial para el desarrollo económico-productivo del país al menos en los próximos treinta años. En tal sentido, tomando en cuenta la importancia estratégica que este tiene en lo relativo a reservas de petróleo y, sobre todo, de gas natural, combustible imprescindible en la transición energética, se debe prestar atención especial al impacto que, desde la ingeniería, puedan generar las tecnologías convergentes en la recuperación y el desempeño de estas industrias, sobre todo en lo concerniente a la progresiva descarbonización parcial de sus actividades y la disminución de otros impactos ambientales. Muchas de las acciones que puedan implementarse y/o desarrollarse en esta, serán de aplicabilidad para el mejoramiento y transformación de otros sectores de la industria.

---

## Referencias bibliográficas

- Adamowski, J (2012). Operationalizing Sustainability Principles in the Engineering Profession. *Natural Resources*, 2012, 3, 180-183
- Andler, D., Barthelmé, S., Beckert, B., Blümel, B., Coenen, C., Fleischer, T., Friedewald, M., Quendt, C., Rader, M., Simakova, E., Woolgar, S (2008) Converging Technologies and their impact on the Social Sciences and Humanities (CONTECS) An analysis of critical issues and a suggestion for a future research agenda. Final Report. [https://cordis.europa.eu/docs/results/28/28837/124377001-6\\_en.pdf](https://cordis.europa.eu/docs/results/28/28837/124377001-6_en.pdf)
- Ashford, N (2004). Major Challenges Engineering Education for Sustainable Development: What Has to Change To Make it Creative, Effective, and Disciplines Acceptable to The Established. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 5(3). 239-250.
- BBC (2021, 10 de mayo). EE.UU. declara estado de emergencia tras un ciberataque a la mayor red de oleoductos del país. *BBC*. Consultado en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-57033536>
- Bell, M. (2007). *Technological learning and the development of production and innovative capacities in the industry and infrastructure sectors of least developed countries: what roles for ODA?* SPRU-Science and Technology Policy Research, University of Sussex.



- Bell, S., Chilvers, A. Hillier, J (2011). The socio-technology of engineering sustainability. *Engineering Sustainability*. Volume 164 Issue ES3.
- BICO (s.f.). The Future of Global Helthcare: Bioconvergence. *BICO*. Consultado en: <https://bico.com/what-is-bio-convergence/>
- CEPAL (2020). América Latina y el Caribe ante la pandemia del COVID-19 Efectos económicos y sociales. Informe Especial COVID-19. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45337/4/S2000264\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45337/4/S2000264_es.pdf)
- CEPAL (2021). Balance Preliminar de las Economías de América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
- Channell, D.F. (2019). From Engineering Science to Technoscience. In: *The Rise of Engineering Science. History of Mechanism and Machine Science*, vol 35. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-95606-0\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95606-0_11)
- Creditea (2021, 30 de marzo). ¿Cuáles son los actores económicos en los que se divide la actividad?. *Creditea*. Consultado en: <https://www.creditea.es/blog/sectores-economicos>
- ENCOVI (2020). Encuesta Nacional sobre Condiciones de Vida 2019-2020. Disponible en: <https://www.proyectoencovi.com/informe-interactivo-2019>
- Engineering Council (2021). *Guidance on Sustainability for the Engineering Profession*. Reino Unido. Disponible en: [https://www.engc.org.uk/media/3555/sustainability-a5-leaflet-2021-web\\_pages.pdf](https://www.engc.org.uk/media/3555/sustainability-a5-leaflet-2021-web_pages.pdf)
- EU (2020, 7 de diciembre). Joint declaration on processors and semiconductor technologies. *European Commission official website*. Consultado en: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/joint-declaration-processors-and-semiconductor-technologies>
- Ferrer, R (2020). Pandemia por COVID-19: el mayor reto de la historia del intensivismo. *Medicina Intensiva*, 44. 6. 323-324.
- George, S. y Hovan George, A.S (2020) Industrial Revolution 5.0: the Transformation of the Modern Manufacturing Process to Enable Man and Machine to Work Hand In Hand. *Journal of Seybold Report*. 15(9).
- Gibbons, M; Limoges, C; Nowotny, H; Schwartzman, S; Scott, P y Trow, M (1997). *La nueva producción del conocimiento. La dinámica de la ciencia y la investigación en las sociedades contemporáneas*. Ediciones Pomares – Corredor S.A, Barcelona.
- Görner, S. Luse, A. Maheshwari, N. Malladi, R. Mori y L. Samek, R (2020). *The potential of advanced process controls in energy and materials*. McKinsey and Company.
- Graham, R (2018). The global state of the art in engineering education. MIT. [https://jwel.mit.edu/sites/mit-jwel/files/assets/files/neet\\_global\\_state\\_of\\_eng\\_edu\\_180330.pdf](https://jwel.mit.edu/sites/mit-jwel/files/assets/files/neet_global_state_of_eng_edu_180330.pdf)
- Greer, C. Burns, M. Wollman y D. Edward Griffor (2019) *Cyber-Physical Systems and Internet of Things*. NIST Special Publication 1900-202. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1900-202>
- Hughes, TP (1987). The Evolution of Large Technological Systems. En: WE Bijker, T Hugues and TJ Pinch (edit). *The Social Construction of Technological Systems. NEW Directions in the Sociology and History of Technology*, The MIT Press, Massachusetts. 51-82
- Hussein, S. Daud, S. Mantoro, T. Shariff S.y Hasan, M (2018). Modelling Team Effectiveness and its Determinants Among Multidisciplinary Engineering Students: A Case of Malaysian Public University. *International Journal of Engineering & Technology*, 7. 2.29. 642-645

- Kamp, A (2016). *Engineering Education in a Rapidly Changing World Rethinking the Vision for Higher Engineering Education*, TU Delft, Faculty of Aerospace Engineering, Delft. ISBN 978-94-6186-609-7. Disponible en: <http://resolver.tudelft.nl/uuid/ae.3b30e3-5380-4a07-afb5-daf30b7b433>
- Loy, J. y Canning, S (2017) *The Creative Engineering Education Imperative for Twenty-First Century Living. International Conference on Engineering and Product Design Education*. Norway
- Mercado, A (2005). El papel de la universidad en la conformación de un modelo productivo sustentable en Venezuela. *Cuadernos del Cendes*, 22(58). 23-45
- Mercado, A; Ávalos, I; Sánchez-Rose, I; Cervilla, M.A.; López, M. S y Vessuri, H (2020). *Investigando en Venezuela. Capacidades de ciencia, tecnología e innovación para superar la crisis en Venezuela*. Informe elaborado para el International Development Research Center (IDRC) y el Global Development Network (GDN). Octubre 2020.
- Mercado A y Cordova K (2020) Sustainability: Socio-Technological Transformations to Overcome the Paradigm of Continuous Growth. *Environment Pollution and Climate Change*, 4: 182
- Mercado, A. y Córdova, K (2018). Universidad latinoamericana: ciencia, tecnología e innovación para afrontar los imperativos de la sustentabilidad, pp 129-181.en: Ramirez, R (Coord). *La investigación científica y tecnológica y la innovación como motores del desarrollo humano, social y económico para América Latina y el Caribe*.
- OECD (2011). *Guide to Measuring the Information Society 2011*. OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787//10.1787/9789264113541-en>
- Pirela, A (edit. 1996). *Cultura Empresarial en Venezuela. La Industria Química y Petroquímica*. Fundación Polar -CENDES. Caracas
- Rostek-Buetti, A. (2020, 3 de marzo). Will COVID-19 exacerbate drugs shortage in Germany?. *DW News*. Consultado en: <https://www.dw.com/en/will-covid-19-exacerbate-drugs-shortage-in-germany/a-52620461>
- Sacks, R. Girolami, M. y Brilakis, J (2020). Building Information Modelling, Artificial Intelligence and Construction Tech. *Developments in the Built Environment*, 4.
- Segalàs, J (2008). *Educating Engineers for Sustainability. Why? What? How?* 10, 117-132. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/7109Ruesga>
- Schuelke-Leech, B (2018) A model for understanding the orders of magnitude of disruptive technologies. *Technological Forecasting and Social Change*. 129, pp 261-274
- Varas, A., Varadarajan, R., Palma, R., Goodrich, J., Yinug, F (2021). Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era. BSG-SIA. <https://www.bcg.com/publications/2021/strengthening-the-global-semiconductor-supply-chain>
- UNESCO (2021). *Engineering for Sustainable Development*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – International Centre for Engineering Education (ICEE) - Central Compilation and Translation Press (CCTP).



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0 Internacional