

# CAPÍTULO 7

## Situaciones y retos de la investigación en Ingeniería

Luis Fernando Cardona Palacio  
Viviana Eloisa Gómez Rengifo

## Introducción

Poveda Ramos (1993) explica que la ingeniería es:

El conjunto de conocimientos teóricos, empíricos y prácticos, que se aplican profesionalmente para disponer de las fuerzas y los recursos naturales, y de los objetos, los materiales y los sistemas hechos por el hombre para diseñar, construir, operar equipos, instalaciones, bienes y servicios con fines económicos, dentro de un contexto social dado, y exigiendo un nivel de capacitación científica y técnica *ad hoc* —particularmente en física, ciencias naturales y economía—, especial y notoriamente superior al del común de los ciudadanos (p. 13).

Por lo anterior, Giraldo (2004) sostiene que “el ingeniero permite definir la ingeniería como la ciencia y el arte de crear, proyectar, desarrollar y construir sistemas físicos y lógicos con las tecnologías disponibles” (p. 162). La investigación en ingeniería tiene por objeto ofrecer, mediante el desarrollo e innovación de nuevas tecnologías, una serie de soluciones a los problemas que se presentan en una sociedad, formando desde las instituciones de educación profesionales capaces de enfrentar estos retos de una manera creativa y rentable (García Retana, 2014).

Pérez (2011) expone cuál es la aplicabilidad de la ingeniería en el mundo actual, siendo el ingeniero un agente de cambio continuo:

La ingeniería es el acicate del desarrollo tecnológico. Hay desarrollo tecnológico porque hay ingeniería para su aplicación práctica y hay ingeniería porque la tecnología evoluciona y, así, entre tecnología e ingeniería se sientan bases para el mejoramiento de la calidad de vida de los seres humanos (p. 12).

Ahora bien, el ingeniero en el ejercicio de su profesión presenta las siguientes características: planificador, diseñador, simulador, optimizador y ejecutor de diferentes procesos industriales y debe, además, mostrar un compromiso entre lo económico, social y medioambiental, por tanto, será ajeno a los intereses económicos particulares y tendrá como eje central el bienestar y mejorar la calidad de vida de las personas (Pérez, 2011).

En el presente capítulo se abordarán diferentes especialidades y subespecialidades de la ingeniería, generando una explicación de algunos retos y situaciones de la investigación cuantitativa en el contexto contemporáneo latinoamericano. Para tal fin, se han evaluado sistemas cuyas soluciones son de interés para la sociedad, y que fueron descritos por Poveda Ramos (1993) y Ramírez Martínez, Castellanos Domínguez y Rodríguez Devis (2011) como: (i) sistemas que incluyen transformación, optimización y control de procesos relacionados con ingeniería biotecnológica, química y ambiental; (ii) sistemas para el manejo de la información, que incluyen: adquisición, transmisión y procesamiento referente a ingeniería de software; (iii) sistemas que involucran manejo de materiales con su transformación, conservación y desarrollo, relacionado con la ingeniería civil y de materiales. Por último, en el capítulo se realizará una breve reseña de algunas investigaciones cualitativas en ingeniería.

## Sistemas que incluyen transformación, optimización y control de procesos

Las investigaciones en el diseño de procesos químicos se centran en la predicción de propiedades termodinámicas y de transporte (viscosidad, conductividad térmica y difusividad), lo que es necesario para diseñar, simular y dimensionar equipos industriales. Algunas investigaciones en adquisición de nuevos modelos termodinámicos han sido útiles en la predicción de equilibrios líquido-vapor en sustancias puras y en mezclas, como lo es la presión de vapor (Cardona, 2016a), entalpía de vaporización (Cardona, 2016b) y la viscosidad (Cardona, 2016c). A continuación, se presentan algunas de las investigaciones en cuanto a la obtención de modelos termodinámicos:

- Forero y Velásquez (2016) proponen una ecuación de estado generalizada basada en una modificación de la ecuación cúbica de Peng-Robinson, válida para calcular las propiedades termodinámicas como: volumen molar, capacidades caloríficas, entalpía, entropía para sustancias puras y mezclas.
- Sanjari (2013) desarrolla un modelo empírico para el cálculo de la presión de vapor para 75 sustancias puras con porcentajes de desviación del 0,091%. Para la determinación de constantes y parámetros, Sanjari empleó el algoritmo de Marquardt–Levenberg que minimiza la suma de los cuadrados de las diferencias entre el valor observado y el predicho por el modelo.
- Lötgering-Lin & Gross (2015) generan un modelo de viscosidad empleando el concepto de entropía residual trabajado por Novak (2011) y Rosenfeld (1977). Su formulación utiliza el método de contribución de grupos y la ecuación de estado PCP-SAFT para el cálculo de la entropía residual.

A partir del desarrollo de los diferentes modelos, el ingeniero simula y diseña procesos industriales; por ejemplo, el desarrollo de un proceso de producción de biodiésel utilizando un reactor tubular de flujo continuo con aceite vegetal, metanol y un catalizador homogéneo básico obteniendo conversiones del 70% en menos de 10 minutos de reacción a una temperatura entre 60-75°C. El reactor es diseñado en forma de serpentín de 107,6 metros de longitud, con un diámetro nominal de 2 pulgadas, fabricado de acero al carbón (Evangelista-Flores et al., 2014). Algunas investigaciones que involucran modelamiento, simulación y diseño de procesos químicos son:

- Estudios de rentabilidad de procesos, es el caso de producción de acetaldehído por deshidrogenación de etanol anhidro al 98,41% mol-g/mol-g, 25,00 °C y 101,32 kPa, a partir de una simulación en estado estacionario en Aspen Hysys ® V8.4. Se empleó un reactor de lecho empacado con catalizador de cromita de cobre a 285 °C y 451,26 kPa y se obtuvo acetaldehído como producto principal e hidrógeno como subproducto. La planta de producción fue rentable con un valor presente neto de 9.506.968 USD/kg y una TIR de 42% si el precio de etanol es de 0,48 USD/kg (Cardona Palacio y Giraldo Agudelo, 2014).

- Diseño y simulación de procesos en continuo como la transesterificación alcalina de aceite crudo de palma para la producción de biodiesel, con el empleo del simulador de procesos de HYSYSTEM. Se evaluaron dos procesos en continuo, el primero de ellos incluye un pretratamiento de neutralización de los ácidos grasos libres; y el segundo, una esterificación en condiciones ácidas. Los resultados del diseño y simulación de ambos procesos indican que el primero requiere un alto gasto de materias primas mientras que el segundo genera una mayor cantidad de biodiésel para una misma cantidad de aceite crudo de entrada (Zapata, Martínez, Arenas Castiblanco y Henao Uribe, 2007).
- Estudio de aprovechamiento de los residuos de cacao (cáscara) para la extracción de polifenoles y fibra total. En el estudio se realizó: (1) caracterización de las cáscaras de cacao evaluando el contenido de polifenoles totales (método de Folin-Ciocalteu) y fibra dietaria total (método enzimático-gravimétrico); (2) la simulación empleando el software SuperPro Designer ®v.9,0 y un diagrama de proceso de las diferentes etapas como preparación, extracción, concentración de polifenoles y fibra total. Se obtuvo 8,6 kgEAG/h de polifenoles totales y 80,3 kg/h de fibra total presentes en la torta de cáscara de cacao (Villamizar-Jaimes y López Giraldo, 2017).

Otra ciencia que ha sido utilizada en diferentes procesos industriales y agroalimentarios es la biotecnología. Los procesos biotecnológicos en las investigaciones cuantitativas se han realizado desde diferentes enfoques, a manera de ejemplo, se ha aplicado en la limpieza de contaminantes de sistemas minerales; estos métodos necesitan poca inversión de capital y bajos costos de operación en relación con los procesos convencionales como floculación y flotación. Además, comparado con los químicos sintéticos, el empleo de microorganismos en los procesos biotecnológicos no impacta negativamente el medio ambiente (Cardona, 2016d). La limpieza del carbón se ha ido incrementando con el fin de lograr una combustión eficaz y disminuir el impacto ambiental. La efectividad de la limpieza depende del método que se va a implementar; por ejemplo, en la Tabla 1 se observa el potencial de reducción de  $SO_x$  para la limpieza física, química y biológica, estas dos últimas muestran mejores resultados con respecto al azufre orgánico (Franco & Díaz, 2009).

Tabla 1. Tecnologías de control para el potencial de reducción de  $SO_x$ .

Técnica de Control	Potencial de Reducción de $SO_x$
Eliminación por precombustión: limpieza física	30-50% azufre inorgánico eliminado
Limpieza química y biológica	90% azufre orgánico eliminado

Fuente: Franco & Díaz (2009)

Algunos ejemplos de investigaciones en el campo de la biotecnología son:

- Evaluación de nano-materiales con el tamaño y forma controlada empleando procesos biotecnológicos, de esta manera se realizó una síntesis de nanopartículas de plata empleando *Plectranthus amboinicus* como agente reductor. El producto obtenido generó un desempeño catalítico mucho más alto que los procesos convencionales (Zheng, Wang, Peng, & Fu, 2017).

- Evaluar los efectos en las condiciones hidrodinámicas a diferentes tasas de aireación y geometría de dos fotobiorreactores anulares con iluminación interna sobre el crecimiento celular, remoción de nitrógeno y producción de lípidos de *Chlorella vulgaris*. Los resultados muestran que las tasas de aireación fueron similares en ambos equipos, la agitación no causó daño celular ni fotoinhibición, el consumo de nitrógeno se mantuvo entre 16-19% y las productividades de lípidos alcanzaron a 1,8 vvm en una columna de burbujeo y *airlift* anulares (Robles et al., 2016).

La investigación relacionada con ingeniería ambiental en América Latina y el Caribe ha ido en aumento después de la Carta de Belgrado en 1975, las posteriores reuniones de Río de Janeiro en 1992 y de Río +20, la declaración del Decenio de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sostenible (2005-2014), y la cumbre del clima realizada en París en el año 2015, haciendo que los diferentes sectores políticos, económicos y sociales de los Estados participantes, adquirieran mayores compromisos para el desarrollo de estrategias efectivas que protejan al medio ambiente (Medina Arboleda y Páramo, 2014; European Commission, 2017).

La problemática ambiental en Colombia está regulada por diferentes leyes. En 1974, cuando se expidió el Código Nacional de Recursos Naturales, solo existían normas dispersas que promovían la explotación, pero no la conservación y manejo. Fue la Constitución Política de Colombia de 1991 la herramienta que reconoció el medio ambiente como elemento fundamental para el desarrollo humano y estableció la formulación de políticas ambientales como parte del Plan de Desarrollo Nacional. La Ley 99 de 1993 crea el Ministerio del Medio Ambiente, modifica el sector encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y el Sistema Nacional Ambiental, SINA. Con el fin de fortalecer y focalizar la gestión ambiental emanada en la constitución política de Colombia y en la Ley 99 de 1993 se crearon cinco institutos de investigación encargados de conservar y aprovechar sosteniblemente los recursos; estos son (Resolución 1484, 2013):

- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (INVEMAR).
- Instituto de hidrología, Meteorología y estudios Ambientales, IDEAM.
- Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico John von Neumann.

Estos institutos, junto al Ministerio de Medio Ambiente y las corporaciones autónomas regionales coordinan las investigaciones, lineamientos y/o políticas que en el tema se requieran. También hacen parte de este grupo las instituciones universitarias públicas y privadas y otros centros de investigación.

La investigación ambiental debe estar orientada a la producción de conocimientos, a la solución y prevención de los problemas del entorno, generando beneficios en toda una comunidad (Ministerio del Ambiente Perú, 2013).

Las temáticas ambientales están encaminadas a la protección y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y la diversidad, la gestión de la calidad ambiental (control de la contaminación, calidad del aire, del agua, y gestión de los residuos sólidos), prevención de desastres, minimización de desechos en la industria y tecnologías limpias. En general, los estudios referentes al medio ambiente no propician mejoras, esto debido a la falta de unión entre las problemáticas ambientales, las investigaciones y las acciones que se necesitan para darles solución (Giannuzzo, 2010). En la actualidad se trabajan a nivel ambiental los siguientes temas:

- La descontaminación de aguas o remoción de contaminantes como colorantes, clorofenoles, metales, productos farmacéuticos, entre otros, empleando bioadsorbentes provenientes de residuos agroindustriales. Gupta, Nayak, & Agarwal (2015) resaltan que, a nivel industrial, la implementación de la adsorción compuesta con otras tecnologías no ha sido muy aceptada, aunque es una técnica eficaz, verde y rentable.
- La generación de energía sostenible se puede producir con celdas de combustible microbianas durante la respiración anaerobia de especies bacterianas. Estas celdas pueden ser prometedoras no solo en la generación de energía (bioenergía), sino también el tratamiento de aguas residuales, realizar cultivos de biomasa de algas y producir pigmentos, asimilación de CO<sub>2</sub> y producción de oxígeno (Saba, Christy, Yu y Co, 2017).
- La producción de bloques ecológicos para la construcción empleando residuos industriales como la cascarilla de arroz, cenizas de cascarilla de arroz, rastrojo de maíz, cenizas de coco y pino; con esta fabricación de bloques se sustituye el cemento, obteniendo valores de resistencia mecánica, a la compresión y a la tensión similares a los comerciales (Fuentes Molina, Fragozo Tarifa y Vizcaino Mendoza, 2015).

---

## Sistemas para el manejo de la información

---

La historia del desarrollo de software inicia en 1842 con Ada Byron, considerada la primera programadora del mundo. En 1957 John W. Tukey fue el primero en emplear la palabra “*software*” y lo definió como toda información procesada por los sistemas informáticos: programas y datos. Entre 1965 y 1972 se buscaron diferentes procedimientos para el desarrollo del software y aparecen los primeros ensayos, que más tarde definirían lo que hoy es la programación estructurada. Así, desde el comienzo del software hasta hoy han aparecido diversos conceptos, desarrollos tecnológicos, redes, componentes, entre otros, que lo convierte en un soporte lógico de una computadora digital (Capterra, 2014).

El desarrollo del software y/o la ingeniería del software no están encaminados estrictamente a un tipo de investigación, es probable que clasifiquen como investigación cuantitativa si son métodos deductivos y empíricos apropiados para el estudio de los fenómenos u entes naturales; o investigación cualitativa que es la investigación en acción, los casos de estudios, fenómenos culturales y sociales, entre otros; pero también puede hacer parte de la investigación creativa que se emplea en las artes (Marcos, 2002).

En la actualidad, los grupos y líneas de investigación en este campo deben atraer estudiantes que posteriormente puedan realizar posgrados, intervenir para que los planes de estudios de las universidades estén orientados a la investigación, con esto se logra el desarrollo de tecnologías, medios de verificación que determinen la veracidad y aplicabilidad de los resultados, la transferencia a las empresas y aumentar la financiación de los proyectos (Meyer, 2010). Algunos estudios recientes están enfocados a:

- El diseño de redes de distribución de agua empleando microalgoritmos genéticos multiobjetivos desarrollados en el lenguaje de programación Java, da soluciones a características hidráulicas requeridas en este diseño (presiones y velocidades máximas, disponibilidad de tuberías, calidad del agua, entre otras), que minimizan el costo y se presenta una máxima confiabilidad en la prestación del servicio de agua a los usuarios (Edwin et al., 2017).
- El desarrollo de aplicaciones para móviles, para el que se deben tener en cuenta etapas como: requisitos, diseño y desarrollo, pruebas, mantenimiento, energía, seguridad; y el futuro de lo anterior está en el análisis de datos, el estudio de mercado, creación de aplicaciones multiplataforma y software seguro (Nagappan & Shihab, 2016) Evolution, and Reengineering (SANER).
- Un ejemplo de la bioinformática o biología computacional es el desarrollo de métodos computacionales para predecir la interacción entre virus (virus del papiloma humano y la hepatitis C) y las proteínas humanas, que incluyen la frecuencia relativa de aminoácidos, la diferencia de frecuencias entre las proteínas y el virus y la composición de aminoácidos (Kim et al., 2016).
- El uso de procesadores digitales de señales para implementar un dispositivo de reconocimiento de voz humana que controle diversos elementos cotidianos en el hogar (construcción de edificios inteligentes), que facilite las condiciones de vida de niños con déficit motriz y adultos de la tercera edad (Camargo, García y Gaona, 2012).

---

## Sistemas que involucran manejo de materiales

---

Las investigaciones en ingeniería civil se encaminan en diferentes líneas como la ingeniería estructural, hidráulica e hidrología, materiales y construcción, vías y geotécnica, tecnologías de información y comunicaciones en la construcción, entre otras. Si nos enfocamos solo en la investigación de materiales, las líneas

pueden estar dirigidas a las mezclas asfálticas y asfáltico, materiales reciclados, resistencia de los materiales, corrosión en las estructuras, materiales cementosos, entre otros. Como producto de estas investigaciones se obtienen materiales optimizados que cumplan con su función, económicos y que sean amigables con el medio ambiente (Universidad de Medellín, 2016; Universidad Católica Luis Amigó, 2016).

El incremento en el consumo de los materiales en la construcción como: el hormigón, el mortero, yeso, ladrillos, acero, piedra natural, minerales de origen natural, arcillas, entre otros, son el presente y harán parte del futuro de los materiales empleados en la Ingeniería Civil, pues su consumo no cesará debido a que se incrementa proporcionalmente con el crecimiento de la población y su desarrollo (Universidad de Oviedo, 2017). Algunos ejemplos de investigaciones actuales son:

- Las mezclas asfálticas calientes junto con el pavimento asfáltico reciclado, ahorran energía, reducen emisiones y disminuyen el consumo de combustible. Esta mezcla produce suficiente rigidez, humedad y resistencia a la fractura, de manera que puede ser usada en la construcción de obras viales (Sengoz et al., 2017).
- El diseño de estructuras resistentes a los terremotos empleando entramado vertical, que mediante simulaciones numéricas determina la flexibilidad de la viga durante un movimiento del terreno (Laghi, Palermo, Gasparini, & Trombetti, 2017).

---

## Investigaciones cualitativas en ingeniería

---

Las investigaciones cualitativas en ingeniería se han centrado en realizar una reflexión en términos de la enseñanza de las diferentes metodologías de aprendizaje de las ciencias básicas (matemática, física, biología y química), al igual que de la ingeniería; es el caso de las metodologías activas con las que el estudiante se enfoca en la construcción de su propio conocimiento. Para tal fin se crea una situación real, se detectan inconvenientes y se proponen estrategias de solución. Entre las metodologías activas de aprendizaje más usadas se encuentran: Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), Aprendizaje Significativo a través de la Resolución de Problemas (ASARP), videojuego y simulación, aprendizaje cooperativo–colaborativo y el aprendizaje orientado a proyectos (AOP) (Rodríguez Serrano, Maya Restrepo y Jaén Posada, 2012).

Aizpun, Sandino y Merideno (2015) proponen generar nuevas innovaciones en las metodologías de enseñanza que involucren la universidad con la empresa, haciendo que los estudiantes apliquen los conocimientos y las habilidades adquiridas en clase en proyectos industriales.

En este sentido, los sistemas de acreditación pretenden que los currículos en las instituciones educativas adquieran bases sólidas en ciencias y matemáticas, buscando un enlace con los conceptos relativos a la práctica de la ingeniería (Vásquez y Posada, 2015).



Lozano (2016) evidencia que:

El desarrollo y contribución (...) del área de formación de las ciencias básicas en los programas de ingeniería no se debe solamente a la necesidad de comprender leyes y postulados de las ciencias, sino (...) al desarrollo de competencias como el análisis, la reflexión, la predicción, la valoración, el trabajo colaborativo, entre otros; lo que lleva a las instituciones de educación superior a implementar estrategias pedagógicas y didácticas intencionadas en un contexto de aprendizaje direccionado y específico (p. 1).

Para realizar el anterior análisis el autor obtuvo la información mediante la opinión de expertos concluyendo que el modelo pedagógico adecuado para la educación de ingenieros es el constructivista.

## Discusión

Algunos de los retos futuros a considerar en la ingeniería son:

Los avances en procesos de biotecnología, nanotecnología, microelectrónica y nanoelectrónica serán utilizados para el diseño y construcción de nanobots, con el fin de reparar tejidos o limpiar arterias. Por otro lado, la bioinformática permitirá el estudio más a fondo del genoma humano, en consecuencia, facilitará el desarrollo de nuevos medicamentos de acuerdo con las características biológicas de cada individuo (Peña-Reyes, 2011). De esta manera, la investigación en ingeniería de tejidos y medicina regenerativa favorecerá la sustitución de partes enfermas o curación de heridas sin cirugía invasiva.

Los procesos energéticos tales como reacciones de transferencia de carga eléctrica, reacciones químicas que ocurren a nivel atómico-molecular, procesos nanotecnológicos que se encargan de caracterizar, ensamblar y manipular los materiales a escala nanométrica (1 y 100 nanómetros) (Gelover Santiago, 2015), permiten configurar materiales con propiedades a la medida, con la posibilidad de ser empleados para la producción de energía limpia, con un mínimo impacto ambiental, y desarrollar sistemas más eficientes para la conversión, transmisión, almacenamiento y el uso de esta energía (Zepeda, León, Alonso-Núñez, Olvera y Fuentes, 2015). Por ejemplo, la tecnología basada en la nanotecnología de las lámparas de luz caseras ha disminuido en 10% el consumo de energía en Estados Unidos, con ahorros de más de 100 mil millones de dólares anuales y, sobre todo, reduciendo las emisiones de carbono en 200 millones de toneladas cada año (Vazquez-Duhalt, 2015); otro ejemplo es la fotónica que, considerada la ciencia y la tecnología de la luz, presenta numerosas aplicaciones industriales uno de estos casos son las tecnologías de la información, para las que posibilita la transmisión y almacenaje de información a grandes velocidades, es decir, la transmisión por fibra óptica, clave en el desarrollo de la Internet; además, en medicina, la fotónica es la base de técnicas importantes en el diagnóstico no invasivo como las termografías y en técnicas colorimétricas que han hecho posible la utilización del láser como instrumento de microcirugía con alta precisión (Calvo, Guzmán y Torner, 2007).

En cuanto a los retos en adquisición de nuevos modelos termodinámicos se espera un mayor desarrollo en:

a. Los líquidos iónicos (LIs), que de acuerdo con Faúndez y Valderrama (2013) son:

una clase de nuevos solventes con muy atractivas propiedades y que han recibido especial atención, debido a sus numerosas aplicaciones: en síntesis, separaciones, catálisis, solventes en electroquímica, absorción de gases, como aditivo en la fabricación de plásticos, en combustibles y lubricantes, como solventes medioambientalmente benignos y como posibles reemplazantes de los tradicionales solventes orgánicos volátiles (p. 126).

En este sentido, la investigación en esta área se ha incrementado de manera exponencial en los últimos años (Fernández, 2008), ya que es necesario el conocimiento de las propiedades físicas, fisicoquímicas, de transporte y del equilibrio entre fases, para poder simular y optimizar los diferentes procesos industriales. Una de las ventajas es su presión de vapor prácticamente nula y son considerados disolventes benignos comparados con los disolventes orgánicos volátiles, además presentan una alta estabilidad química y térmica que permite que sean utilizados a altas temperaturas (Sheldon, 2001). Algunas investigaciones han desarrollado modelos analíticos para calcular la presión de vapor, propiedades críticas, temperatura normal de ebullición y pruebas de consistencia para líquidos iónicos (Valderrama & Forero, 2012; Valderrama, Forero, & Rojas, 2012, 2015); no obstante, diferentes estudios han revelado el alto impacto de las investigaciones en líquidos iónicos y sus mezclas en relación con el diseño de procesos de recuperación de sustancias y, de acuerdo con Ron (2016), “se han desarrollado como alternativas de solución a la separación y posterior electrodeposición directa de metales de tierras raras” (p. 41), proceso que no es posible en fases orgánicas como resultado de extracción por solventes (Sánchez Moreno, 2017). Otras aplicaciones que se están investigando y desarrollando en relación con los líquidos iónicos son el uso de baterías de litio como electrolitos; además, la simulación y optimización de algunos procesos como: (1) BASIL, se basa en la obtención de alcoxifenilfosfinas en un sistema bifásico, sin producción de sólidos, separación de mezclas azeotrópicas y cloración de alcoholes; (2) DIFASOL, se trata de la dimerización de alquenos, generalmente propeno y buteno, a hexeno y octeno utilizando un líquido iónico como disolvente y un catalizador de níquel; (3) Procesos de aditivos en la fabricación de nuevas pinturas para mejorar el acabado, la apariencia y las propiedades de secado, lo que permite una reducción del uso de sustancias orgánicas volátiles (García Bernal et al., 2011).

b. Determinación de propiedades fisicoquímicas y diseño de procesos empleando teoría estadística de fluidos asociantes SAFT (Statistical Associating Fluid Theory). Esta modelación corresponde a una nueva generación de ecuaciones basadas en teorías moleculares, y permite calcular propiedades termodinámicas tomando en cuenta las distintas fuerzas intramoleculares e intermoleculares de las sustancias puras y de las mezclas. De este modelo surgieron modificaciones a lo largo de los años, por ejemplo LJ-SAFT, soft-SAFT, PC-SAFT, entre otras. No obstante, como lo indican Valencia y Cardona (2013), al simular el equilibrio de fases de mezclas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) compuestos por dióxido de carbono, monóxido de carbono, monóxido de dinitrógeno y el dióxido de azufre provenientes

de corrientes de combustión, la ecuación PC-SAFT no fue apropiada para predecir el equilibrio y no se obtienen resultados consistentes para azeótropos. Por lo tanto, su desarrollo y predicción de equilibrios de fases de sistemas multicomponentes de las ecuaciones SAFT, PC-SAFT, soft-SAFT, entre otras, se encuentra aún en desarrollo (Abildskov & Kontogeorgis, 2004).

- c. Adquisición de nuevos modelos generalizados en la predicción de las propiedades de transporte: viscosidad, conductividad térmica y difusividad con bajos porcentajes de error frente a datos experimentales. Para tal fin, se deben incorporar diferentes teorías como la entropía residual (Novak, 2011), teoría del volumen libre (Llovel, Marcos, & Vega, 2013), teoría de fricción (Quiñones-Cisneros, Zéberg-Mikkelsen, & Stenby, 2000) con conceptos termodinámicos como ecuaciones cúbicas de estado, SAFT, PC-SAFT y contribución de grupos (Hopp & Gross, 2017).

En cuanto a la simulación y diseño de procesos se espera un mayor desarrollo referido a la optimización (Cardona, 2016e). Un desafío es la optimización y solución de procesos robustos, debido a que es un tema que sigue siendo limitado. Por ejemplo, equipos como mezcladores y divisores generan expresiones matemáticas altamente no lineales y no convexas a partir de los balances de masa y energía, fracciones divisorias y la incorporación de modelos termodinámicos y fenómenos de transporte. Por lo anterior es necesario el desarrollo de algoritmos de optimización, con el fin de obtener un diseño factible y óptimo, no obstante, es fundamental encontrar un punto de partida inicial para los problemas de optimización (inicialización), por ejemplo, Barttfeld, Aguirre & Grossmann (2003) presentan un enfoque de inicialización basado en el diseño de torres de destilación. Cabe resaltar que la optimización de procesos ha progresado significativamente, sin embargo, los grandes avances en cuanto a la teoría no se ven reflejados en paquetes comerciales que generen un alto impacto a nivel industrial (Harmsen, 2004). De acuerdo con Aguilar Aguilar (2017), las facilidades que genera el uso de software especializado encaminado a la simulación de procesos están relacionadas con una disminución de los costos y la mano de obra.

Las iniciativas orientadas a procesos sostenibles impulsarán la demanda en la investigación; una de estas iniciativas es el uso de biomasa como materia prima química y energética. Existe también un creciente interés en la producción de combustible a partir de algas y fuentes de cultivos no alimenticios para desarrollar a futuro procesos integrados energéticamente, con el fin de ahorrar energía y, por ende, disminuir costos de producción. Laborde, González, Ponce, Pagano y Gely (2017) optimizan energéticamente el proceso de esterificación de aceites vegetales usados para la producción de biodiesel, a partir de un análisis estructural mediante simulación empleando el software GAMS®; las simulaciones demuestran un ahorro energético de servicios externos de 64,21%, mientras que García y Hernández (2017) minimizan el consumo de energía en diferentes esquemas de destilación reactiva para la producción de difenil carbonato, comprobando que el ahorro económico y energético para este proceso son proporcionales.

Otra área en crecimiento es el diseño de sistemas de energía alternativa, tal es el caso de procesos de captura de carbono que necesitan ser evaluados y optimizados, al igual que las fuentes alternativas existentes como la eólica y la solar (Grossmann, 2016). Además, el uso de hidrógeno como vector energético presenta un futuro promisorio. Aguilar Aguilar (2017) sostiene que el proceso de producción de hidrógeno por electrólisis presenta las mejores características de diseño, por este motivo es uno de los más investigados en la actualidad; no obstante, falta aún más desarrollo y optimización. El autor sostiene que en la actualidad las investigaciones en este campo se encuentran en fase de desarrollo y presentan una gran facilidad para acoplarse con otros procesos energéticos. Es así que los procesos electroquímicos se proyectan como una solución rápida y efectiva en la remoción de metales pesados de cuerpos de agua; sin embargo, presentan altos costos energéticos y formación de subproductos no deseados, por lo tanto, el desarrollo de procesos electroquímicos eficientes y rentables será un campo de investigación con múltiples aplicaciones teóricas e industriales (Llanos Páez, Ríos Navarro, Jaramillo Páez y Rodríguez Herrera, 2016).

Otra área de interés es el diseño de productos. Zhang, Babi, & Gani (2016) presentan los desafíos y motivaciones del desarrollo de nuevos productos junto con los procesos de separación, y concluyen que una de las limitaciones es la falta de datos y de teoría sobre los cuales se puedan desarrollar y emplear los diferentes modelos y procesos.

Los recientes avances en vuelos espaciales prometen desencadenar, de acuerdo con Chen & Grossmann (2017), una nueva era de actividad comercial y, por ende, nuevas oportunidades en el diseño de procesos. Actualmente se están realizando inversiones significativas en la actividad industrial extraplanetaria, por ejemplo, en la minería de asteroides (Pasztor, 2016). A corto plazo, esta actividad estará restringida a compuestos preciosos traídos de vuelta a la Tierra para su procesamiento, el interés crecerá por la capacidad de realizar algunas actividades de procesamiento en el espacio para evitar los costos de transporte.

En cuanto a la biotecnología se espera un mayor desarrollo en procesos de biolixiviación, bioflotación y bioadsorción referente a la extracción de metales pesados o compuestos contaminantes empleando diferentes tipos de microorganismos. Para tal fin se deben desarrollar procesos biotecnológicos trabajando con condiciones óptimas, eficientes y económicas. Es el caso de la biolixiviación empleando la bacteria de *Acidithiobacillus ferrooxidans*, con la que se logró una recuperación del 86% de pirita y cuprita presentes en sistemas minerales como cuarzo. Algunas investigaciones actuales insisten en la aplicación de procesos biotecnológicos en la industria, es el caso de las empresas mineras que aún siguen realizando lixiviación química convencional cuando pudiesen incorporar en la operación la adición de microorganismos para aumentar la recuperación de cobre de minerales sulfurados incluyendo cuarzo (Huarachi-Olivera et al., 2017).

En la actualidad, los temas en investigación ambiental están muy ligados a los problemas medioambientales, pero a futuro se requiere una visión creativa que potencialice la solución de estos. Entre los asuntos a priorizar están la educación ambiental, la gestión ambiental, el tratamiento de aguas residuales, la contaminación del aire, la gestión de residuos sólidos, las tecnologías, producción más limpia y la adaptación climática, que son

puntos a evaluar en la planificación de un futuro en el que prima el desarrollo sostenible y la biodiversidad. La UNEP (Programa Medioambiental de las Naciones Unidas) ha identificado otros desafíos que afectan la sostenibilidad de las regiones como: el exceso de nitrógeno en el medio ambiente, la aparición de enfermedades infecciosas, el comercio ilegal en la fauna silvestre, los hidratos de metano, los desechos de plástico en el océano y un cambio rápido en el Ártico (Mihelcic et al., 2016).

Entre las ideas y proyectos a futuro de la ingeniería de sistemas están temas como la migración de aplicaciones y el rediseño de arquitectura; además de tendencias e iniciativas para el desarrollo de software como: Web Components, Desarrollo en la nube, Interfaces de Desarrollo de Aplicaciones (APIs), el lenguaje de programación Java, Bases de datos NoSQL, PHP 7, Isomorfización, Internet de las cosas, wearables, el aprendizaje automático y aprendizaje profundo, la realidad virtual y aumentada, EcmaScrip 6, Node. (BBVAOpen4U, 2016; Chavarriaga L y Arboleda, 2016, Heras, 2016; Fernandez Sanz, 2000).

Por otro lado, la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE y American Society of Civil Engineers, 2010), durante su cumbre en 2006, planteó las tendencias para el 2025 en el área de la ingeniería civil y resaltó la escasa participación de los ingenieros en los procesos políticos, la necesidad de lograr la sostenibilidad, la globalización de las prácticas de la ingeniería, la sensibilización sobre el cuidado del medio ambiente (edificaciones sustentables, utilización de materiales optimizados, edificios inteligentes o domótica, aprovechamiento del agua, construcción sin pérdidas) (ASCE y American Society of Civil Engineers, 2010). El futuro de la ingeniería civil visto desde el impacto que tendrá la nanotecnología en los materiales, especialmente para la construcción, haciendo que estos sean más eficaces, duraderos, que conserven excelentes propiedades para prevenir la corrosión, reducir la transferencia de calor, ser amigables con el medio ambiente, y que se reduzcan costos (Rao, Rajasekhar, Vijayalakshmi, & Vamshykrishna, 2015). Así, no solo se requiere ingenieros que mantengan un buen diseño y planificación, sino que evalúen también los impactos de los proyectos.

Además, uno de los principales retos de la ingeniería es ético; es decir el ingeniero debe asumir plenamente la ética profesional, incluyendo los valores ambientales y anteponiendo a los intereses particulares y/o políticos aquellos que benefician a las generaciones actuales y futuras (Mariño, 2007).

## Conclusiones

Las revoluciones tecnológicas en todas las áreas: agrícola, urbana, metalúrgica, mercantil, industrial, termo-nuclear, electrónica, telemática, biotecnológica, nanotecnología, fotónica y demás, generan modificaciones en las estructuras sociales, que conducen a remodelar asuntos como la identidad cultural, la economía y las empresas (Gómez, 2011). Por este motivo, las diferentes instituciones de educación deben aportar a la construcción de identidad de los sujetos. Echavarría Grajales (2003) sostiene que:

En la construcción de la identidad el individuo configura formas legítimas de convivir y organizar el mundo vital para reestablecerlo, si así lo quiere, como un espacio de calidad de vida, un espacio vital de la relación y continua interacción, un espacio para vivir la diferencia y el reconocimiento (p. 8).

El mayor reto para una educación igualitaria consiste en construir desde la interculturalidad una identidad cultural más amplia que contemple aspectos tanto comunes, como disimiles, de los diferentes grupos que coexisten en la sociedad; esto se refiere a compartir e intercambiar experiencias, conocimientos, creencias, tradiciones, ideas (Rascón Gómez, 2006).

En este sentido, los desarrollos de técnicas y/o tecnologías deben contribuir al bienestar de la sociedad en la optimización de tareas, disminución de tiempo y de costos. El crecimiento tecnológico genera un impacto en el medio ambiente, generando residuos sólidos, líquidos y gaseosos, por ejemplo, en los procesos de combustión del carbón se producen contaminantes gaseosos como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y dióxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), posteriormente estos gases reaccionan químicamente con el vapor de agua y otras sustancias en la atmósfera para formar ácidos, que se depositan en la lluvia, destruyendo hábitats de flora y fauna, causando enfermedades al sistema respiratorio, circulatorio y nervioso del ser humano (Hendryx, 2015). Aquí es donde los ingenieros deben proponer alternativas sostenibles y estrategias que solucionen o disminuyan los impactos de los diferentes procesos.

El crecimiento tecnológico expresado en recursos de aprendizaje contribuye a mejorar la enseñanza, a la consolidación de conocimientos, proporcionar herramientas de solución de los problemas sociales, a la toma de decisiones, y al sentido de compromiso y responsabilidad con el medio ambiente; además, la educación contribuye al proceso de crear, innovar y asimilar la tecnología. Para lograrlo es necesario que las entidades públicas y privadas inviertan y apoyen los procesos de I+D+I, así aportan al desarrollo económico y social de un país.

En este capítulo se mostraron algunas de las investigaciones en ingeniería y sus retos a futuro, evidenciando la importancia de la investigación en este campo, por ejemplo, en la realización de modelaciones, simulaciones y diseños eficientes, con menor impacto ambiental y económico. Silva (2017) sostiene:

Investigar para desarrollarse y no solo para crecer, desarrollo que debe estar fundado en la persona y en la naturaleza para la reproducción de la vida. En este caso, el conocimiento creado por la investigación no se agota, sino que queda acumulado y debe estimularse para la creación de ciencia y tecnología. Dicho conocimiento se va construyendo como parte de la práctica social (p. 47).

Así, el desarrollo tecnológico debe garantizar la sostenibilidad de la naturaleza en función de la vida y el bienestar de los seres humanos. Las herramientas tecnológicas no solo deben favorecer el medio ambiente y procesos tanto ecológicos como sostenibles, sino también orientar de manera adecuada la educación ambiental en todos los niveles sociales. Armas, Montano, Mena y Santiesteban (2017) y Sosa (2017) indican que los

avances y desarrollos técnicos-científicos deben de ir acompañados de educación ambiental y es esta la clave de formación en ingeniería junto con las implicaciones éticas. Para generar educación ambiental dirigido hacia la sostenibilidad se necesita la integración de diversos enfoques:

1) Enfoque basado en un pensamiento integrador; 2) Enfoque interdisciplinario; 3) Enfoque problematizador; 4) Enfoque cooperativo y dialógico; 5) Enfoque constructivo de los valores; 5) Enfoque de compromiso y de acción; 6) Enfoque positivo de los conflictos; 7) Enfoque socio afectivo; y 8) Enfoque multicultural (Armas et al., 2017, p. 188).

Finalmente, el futuro de la ingeniería requiere una capacidad de simular, modelar, diseñar, rediseñar, implementar y educar. Los investigadores están llamados a desarrollar procesos y herramientas mucho más potentes e innovadoras aplicadas a la resolución de problemas sociales. En el año 2004, la Convención Mundial de Ingenieros en su proclama unánime denominada “Declaración de Shanghái sobre ingeniería y el futuro sostenible” (CMI, como se citó en Armas et al., 2017) plantea los siguientes desafíos de esta área del conocimiento:

1) La situación crítica de la sostenibilidad; 2) La misión de la comunidad de ingeniería; 3) Responsabilidad y compromiso con la sostenibilidad de los ingenieros; 4) Ética y códigos de conducta para los ingenieros; 5) Interdisciplinaridad en la labor profesional de los ingenieros y 6) Educación y generación de capacidades entre los ingenieros para la sostenibilidad (p. 188).

En este sentido, se requiere el aporte e inversión de diferentes organismos financieros para asegurar el progreso de la investigación en las distintas ramas de la ingeniería.

## Referencias

- Abildskov, J., & Kontogeorgis, G. M. (2004). Chemical Product Design: A new challenge of applied thermodynamics. *Chemical Engineering Research and Design*, 82(11), 1505-1510. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263876204726441>
- Aguilar Aguilar, I. R. (2017). *Evaluación de alternativas para potencializar el uso de hidrógeno como vector energético* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Aizpun, M., Sandino, D., y Merideno, I. (2015). Desarrollo de las habilidades de los alumnos a través de la colaboración entre industria y universidad. *Ingeniería e Investigación*, (3), 121–128. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingeinv/article/view/48188/54836>
- Armas, F. O. M., Montano, S. G. C., Mena, A. N. R. y Santiesteban, E. F. (2017). Sostenibilidad, ingeniería y enseñanza de las ciencias básicas. Marco teórico conceptual. *Revista Iberoamericana de Educación*, 73, 179-202. Recuperado de <https://rieoei.org/RIE/article/view/298>

- Barttfeld, M., Aguirre, P. A., & Grossmann, I. E. (2003). Alternative representations and formulations for the economic optimization of multicomponent distillation columns. *Computers y Chemical Engineering*, 27(3), 363-383. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135402002132>
- BBVAOpen4U. (2016). Tendencias en desarrollo de software para 2016. Recuperado de <https://bbvaopen4u.com/es/actualidad/tendencias-en-desarrollo-de-software-para-2016>
- Berga Casafont, L. (2012). Retos y oportunidades de la Ingeniería Civil Española. *Revista de obras públicas*, 159(3537), 37-50. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4086610>
- Camargo, J., García, L. y Gaona, E. (2012). Reconocimiento de voz humana aplicado a la domótica. *Ingenium. Revista de la facultad de ingeniería*, 13(26), 97-106. Recuperado de <http://revistas.usbbog.edu.co/index.php/Ingenium/article/view/1285>
- Calvo, M. L., Guzmán, Á. y Torner, L. (2007). Óptica Y Fotónica: Contexto Iberoamericano. *Transatlántica de Educación*, 3, 128–140. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2521897>
- Capterra. (2014). The history of software. Retrieved from <http://www.capterra.com/history-of-software>
- Cardona Palacio, L. F. (2016a). Nueva correlación generalizada para estimar la presión de vapor. *Revista Científica*, 2(25), 1-17. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/article/view/10471>
- Cardona Palacio, L. F. (2016b). Estimación de la entalpía de vaporización de sustancias puras como función de la temperatura y presión. *Ingenium*, 10(28), 33–40. Recuperado de <http://revistas.usc.edu.co/index.php/Ingenium/article/view/653#.WsU8Yvnwbc>
- Cardona Palacio, L. F. (2016c). Cálculo de la viscosidad de hidrocarburos a partir de la ecuación cúbica de estado de Jarrahian-Heidaryan. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(3), 1019-1025. Recuperado de <http://rmiq.org/iqfvp/Pdfs/Vol.%2015,%20No.%203/Termo2/RMIQTemplate.pdf>
- Cardona Palacio, L. F. (2016d). Revisión de las características coloidales del carbón con el fin de optimizar los procesos de separación. *Cuaderno Activa*, 8, 101–117. Recuperado de <http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/334>
- Cardona Palacio, L. F. (2016e). Diseño óptimo del proceso de extracción de grasa a partir del residuo de descarte derivado del proceso de curtición. *Lámpsakos*, 16, 21-32. Recuperado de <http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/article/view/1903/1781>



- Cardona Palacio, L. F., y Giraldo Agudelo, J. (2014). Simulación de una planta de producción de Acetaldehído en estado estacionario con estudio de rentabilidad (Tesis de maestría). Universidad EAFIT, Medellín.
- Chavarriaga L., J. A. y Arboleda J., H. F. (2016). Modelo de Investigación en Ingeniería del Software: Una propuesta de investigación tecnológica. Recuperado de <http://web.emn.fr/x-info/harbol07/MIFISIS2004.pdf>
- Chen, Q., & Grossmann, I. E. (2017). Recent developments and challenges in optimization-based process synthesis. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 8, 12.1-12.35. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28375774>
- Constitución Nacional de Colombia. (1991). Asamblea Nacional Constituyente, Bogotá, Colombia, 6 de Julio de 1991.
- Echavarría Grajales, C. V. (2003). La escuela: un escenario de formación y socialización para la construcción de identidad moral. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y juventud*, 1(2), 15-43. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-715X2003000200006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-715X2003000200006)
- Edwin, P. V., Angely, V. C., Franz, C. P., Jesús, M. M., Eduardo, C. V., y Luis, A. R. (2017). Diseño Óptimo de Redes de Distribución de Agua Usando Un Software Basado en Microalgoritmos Genéticos Multiobjetivos. *Ribagua*, 4(1), 6-23. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23863781.2017.1317087>
- ASCE y American Society of Civil Engineers. (2010). La visión para la ingeniería civil en 2025: Como alcanzar la visión para la ingeniería civil en 2025. Recuperado de [http://www.asce.org/uploadedFiles/About\\_Civil\\_Engineering/Content\\_Pieces/vision2025-espanol.pdf](http://www.asce.org/uploadedFiles/About_Civil_Engineering/Content_Pieces/vision2025-espanol.pdf)
- European Commission. (2017). Acuerdo de París. Recuperado de [https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es)
- Evangelista-Flores, A., Alcantar-González, F. S., Ramírez de Arellano Aburto, N., Cohen Barki, A., Robledo-Pérez, J. M. y Cruz-Gómez, M. J. (2014). Diseño de un proceso continuo de producción de biodiésel. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13(2), 483-491. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-27382014000200013](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382014000200013)
- Faúndez, C. A. y Valderrama, J. O. (2013). Avances sobre métodos de consistencia termodinámica de datos de equilibrio entre fases de mezclas binarias que contienen líquidos iónicos. *Información tecnológica*, 24(4), 125-136. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642013000400014](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000400014)
- Fernández Sanz, L. (2000). El futuro de la ingeniería del software o ¿cuándo será el software un producto de ingeniería?. *Novática*, 82-84. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2821868>

- Franco, A. & Díaz, A. R. (2009). The future challenges for “clean coal technologies”: Joining efficiency increase and pollutant emission control. *Energy*, 34(3), 348–354. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544208002508>
- Fernández, F. J. H. (2008). *Desarrollo de nuevos procesos biotecnológicos basados en el uso de líquidos iónicos, fluidos supercríticos y tecnología de membranas* (Tesis doctoral). Universidad de Murcia, Murcia.
- Forero, G. L. A. & Velásquez, J. J. A. (2016). A generalized cubic equation of state for non-polar and polar substances. *Fluid Phase Equilibria*, 418, 74–87. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378381215301503>
- Fuentes Molina, N., Fragozo Tarifa, O. I., y Vizcaino Mendoza, L. (2015). Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25, 99-116. Recuperado de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1434>
- García Bernal, E., Pérez de los Ríos, A., Hernández Fernández, F. J., Larrosa Guerrero, A., Ginestá, A., Sánchez Segado, S., Lozano, L. J. y Godínez, C. (2011). Aplicaciones de los líquidos iónicos en la industria química. *Investigación ETSII*, 66-68. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3718674>
- García, A. G. R. y Hernández, J. G. S. (2017). Diseño de un proceso de bajo consumo de energía para la producción de difenil-carbonato. *Jóvenes en la Ciencia*, 3(1), 211-216. Recuperado de <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/907>
- García Retana, J. A. (2014). Ingeniería, matemáticas y competencias. *Actualidades Investigativas en Educación*, 14(1), 1–29. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/aie/article/view/13383/18341>
- Giannuzzo, A. N. (2010). Los estudios sobre el ambiente y la ciencia ambiental. *Scientiae Studia*, 8, 129-156. Recuperado de [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-31662010000100006](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-31662010000100006)
- Giraldo, A. V. (2004). La relación entre la ingeniería y la ciencia. *Facultad de Ingeniería*, 31, 156–174. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43003113>
- Gómez, M. R. (2011). *Identidad cultural e integración: desde la Ilustración hasta el Romanticismo latinoamericanos*. Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá, Facultad de Filosofía.
- Gelover Santiago, S. L. (2015). Nanotecnología, una alternativa para mejorar la calidad del agua. *Mundo Nano*, 8(14), 40–52. Recuperado de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/nano/article/view/52511>
- Grossmann, M. (2016). *Alternative Energy Sources and Technologies*. Basel, Switz.: Springer Int. Publ.

- Gupta, V. K., Nayak, A. & Agarwal, S. (2015). Bioadsorbents for remediation of heavy metals: Current status and their future prospects. *Environmental Engineering Research*, 20(1), 1-18. Recuperado de <http://www.eeer.org/upload/eeer-20-1-1.pdf>
- Harmsen, G. J. (2004). Industrial best practices of conceptual process design. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 43(5), 671-675. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0255270103001636>
- Hendryx, M. (2015). The public health impacts of surface coal mining. *The Extractive Industries and Society*, 2, 820-826. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214790X15001264>
- Heras, J. (2016). Pronóstico para el desarrollo de software en 2016. *DiarioTi*, 14(99), Opinión. Recuperado de <http://diarioti.com/pronosticos-para-el-desarrollo-de-software-en-2016/92707>
- Hopp, M., y Gross, J. (2017). Thermal Conductivity of Real Substances from Excess Entropy Scaling Using PCP-SAFT. *Industrial y Engineering Chemistry Research*, 56(15), 4527-4538. Recuperado de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.iecr.6b04289>
- Huarachi-Olivera, R., Dueñas-Gonza, A., Yapo, U., Almanza, M., Manuel, D., Lazarte-Rivera, A., Mogrovejo-Medina, G., Taco-Cervante, H., & Esparza, M. (2017). Biolixiviación de mineral cuarzo por *Acidithiobacillus ferrooxidans* en reactor de columna por gravedad. *Revista de Metalurgia*, 53(2), 1-13. Recuperado de <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/1411>
- Kim, B., Alguwaizani, S., Zhou, X., Huang, D.-S., Park, B., & Han, K. (2016). An improved method for predicting interactions between virus and human proteins. *Journal of Bioinformatics and Computational Biology*, 15(01), 1650024-1-17. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27397631>
- Laghi, V., Palermo, M., Gasparini, G., & Trombetti, T. (2017). Strong-back system coupled with framed structure to control the building seismic response. *Journal of Civil y Environmental Engineering*, 7(12), 1-7. Recuperado de <https://www.omicsonline.org/open-access/strongback-system-coupled-with-framed-structure-to-control-thebuilding-seismic-response-2165-784X-1000274.php?aid=88590>
- Laborde, M. F., González, M. S., Ponce, J. M., Pagano, A. M. y Gely, M. C. (2017). Optimización del proceso de esterificación de aceites vegetales usados para la producción de biodiesel. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 8(1), 17-30. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323650376003>;
- Ley 99. Diario Oficial de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 22 de diciembre de 1993.

- Lötgering-Lin, O., & Gross, J. (2015). Group contribution method for viscosities based on entropy scaling using the perturbed-chain polar statistical associating fluid theory. *Industrial y Engineering Chemistry Research*, 54(32), 7942-7952. Recuperado de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.iecr.5b01698>
- Lozano, P. L. (Octubre, 2016). Articulación curricular del área de ciencias básicas en los programas de ingeniería. En 3er Simposio Internacional y 4to Coloquio Regional de Investigación Educativa y Pedagógica. Sistema de Universidades Estatales del Caribe Colombiano, Universidad de Córdoba.
- Llovell, F., Marcos, R. M., & Vega, L. F. (2013). Transport properties of mixtures by the soft-SAFT+ free-volume theory: application to mixtures of n-alkanes and hydrofluorocarbons. *The Journal of Physical Chemistry B*, 117(17), 5195-5205. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23566079>
- Llanos Páez, O., Ríos Navarro, A., Jaramillo Páez, C. A. y Rodríguez Herrera, L. F. (2016). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Producción+ Limpia*, 11(2), 150-160. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552016000200013&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552016000200013&script=sci_abstract&tlng=es)
- Marcos, E. (2002). Investigación en Ingeniería de Software vs Desarrollo Software. Recuperado de <http://gidis.inf.pucp.edu.pe/recursos/InvIngSWvsDS.pdf>
- Mariño, J. J. (2007). Reflexiones sobre el papel de la Ingeniería Civil en la evolución del medio ambiente en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 26, 65-73. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n26/n26a9.pdf>
- Medina Arboleda, I. F., y Páramo, P. (2014). La investigación en educación ambiental en América Latina: un análisis bibliométrico. *Revista Colombiana de Educación*, 66, 55-72. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcde/n66/n66a03.pdf>
- Meyer, B. (2010). The other impediment to software engineering research. Retrieved from <https://bertrandmeyer.com/2010/04/25/the-other-impediment-to-software-engineering-research/>
- Mihelcic, J. R., Naughton, C. C., Verbyla, M. E., Zhang, Q., Schweitzer, R. W., Oakley, S. M., Wells, C. y Whiteford, L. M. (2016). The Grandest Challenge of All: The Role of Environmental Engineering to Achieve Sustainability in the World's Developing Regions. *Environmental Engineering Science*, 34(1), 16-41. Retrieved from <https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/ees.2015.0334>
- Ministerio del Ambiente Perú. (2013). Agenda de Investigación Ambiental 2013-2021. Recuperado de [http://www.minam.gob.pe/investigacion/wp-content/uploads/sites/19/2013/10/Agenda-de-Investigaci%C3%B3n-Ambiental\\_Interiores.pdf](http://www.minam.gob.pe/investigacion/wp-content/uploads/sites/19/2013/10/Agenda-de-Investigaci%C3%B3n-Ambiental_Interiores.pdf)

- Nagappan, M., & Shihab, E. (14-18 March, 2016). *Future Trends in Software Engineering Research for Mobile Apps*. Paper presented at the 2016 IEEE 23rd International Conference on Software Analysis, Evolution, and Reengineering. SANER, Osaka.
- Novak, L. T. (2011). Fluid viscosity-residual entropy correlation. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 9(1), 1-27. Retrieved from <https://www.degruyter.com/view/j/ijcre.2011.9.issue-1/1542-6580.2839/1542-6580.2839.xml>
- Rao, N. V., Rajasekhar, M., Vijayalakshmi, K., & Vamshykrishna, M. (2015). The Future of Civil Engineering with the Influence and Impact of Nanotechnology on Properties of Materials. *Procedia Materials Science*, 10, 111-115. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211812815002709>
- Ramírez Martínez, D. C., Castellanos Domínguez, O. F. y Rodríguez Devis, J. M. (2011). Divulgación y apropiación del conocimiento en ingeniería: oportunidad para la innovación. *Ingeniería e Investigación*, 31(1), 63-73. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092011000400009&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092011000400009&script=sci_abstract&tlng=es)
- Resolución 1484. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá, Colombia, 31 de octubre de 2013.
- Saba, B., Christy, A. D., Yu, Z., & Co, A. C. (2017). Sustainable power generation from bacterio-algal microbial fuel cells (MFCs): An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 75-84. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117301259>
- Sanjari, E. (2013). A new simple method for accurate calculation of saturated vapor pressure. *Thermochimica Acta*, 560, 12-16. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040603113001214>
- Sengoz, B., Topal, A., Oner, J., Yilmaz, M., Dokandari, P. A., & Kok, B. V. (2017). Performance Evaluation of Warm Mix Asphalt Mixtures with Recycled Asphalt Pavement. *Periodica Polytechnica. Civil Engineering*, 61(1), 117. Retrieved from <https://pp.bme.hu/ci/article/view/8498>
- Pasztor, A. (Junio 3, 2016). Luxembourg sets aside funds for asteroid-mining push. *Wall Street Journal*. Retrieved from <http://www.wsj.com/articles/luxembourg-sets-aside-funds-for-asteroid-mining-push-1464947123>
- Peña-Reyes, J. I. (2011). Grandes retos de la ingeniería y su papel en la sociedad. *Ingeniería e Investigación*, 31, 100-111. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64322341005>

- Pérez, R. D. L. (2011). Aportes y perspectivas de la ingeniería en el desarrollo humano en Colombia, en el devenir de los últimos 200 años. *Épsilon*, (16), 11–30. Recuperado de [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35803200/425-854-1-SM.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1522881832&Signature=yнкCLMgBKKU4ofDanUMu6zOaUMA%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DContributions\\_and\\_Perspectives\\_of\\_Engine.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35803200/425-854-1-SM.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1522881832&Signature=yнкCLMgBKKU4ofDanUMu6zOaUMA%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DContributions_and_Perspectives_of_Engine.pdf)
- Poveda Ramos, G. (1993). *Ingeniería e Historia de las técnicas*. Bogotá, Colombia: Tercer Mundo Editores.
- Quiñones-Cisneros, S. E., Zéberg-Mikkelsen, C. K., & Stenby, E. H. (2000). The friction theory (f-theory) for viscosity modeling. *Fluid Phase Equilibria*, 169(2), 249-276. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378381200003101>
- Rascón Gómez, M.T. (2006). *La construcción de la identidad cultural desde una perspectiva de género: el caso de las mujeres marroquíes*. (Tesis doctoral). Universidad de Málaga, Málaga.
- Ron, C. (2016). *Estudio de la recuperación de europio e itrio a partir de tubos de rayos catódicos desechados* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Rodríguez Serrano, K. P., Maya Restrepo, M. A. y Jaén Posada, J. S. (2012). Educación en Ingenierías: de las clases magistrales a la pedagogía del aprendizaje activo. *Ingeniería y Desarrollo*, 30(1), 125–142. Recuperado de <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/2091>
- Robles-Heredia, J. C., Sacramento-Rivero, J. C., Ruiz-Marín, A., Baz-Rodríguez, S., Canedo-López, Y. y Narváez-García, A. (2016). Evaluación de crecimiento celular, remoción de nitrógeno y producción de lípidos por *Chlorella vulgaris* a diferentes condiciones de aireación en dos tipos de fotobiorreactores anulares. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(2), 361-377. Recuperado de <http://rmiq.org/iqfvp/Pdfs/Vol.%2015,%20No.%202/Bio6/Bio6.html>
- Rosenfeld, Y. (1977). Relation between the transport coefficients and the internal entropy of simple systems. *Physical Review A*, 15(6), 2545-2549. Recuperado de <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRevA.15.2545>
- Sánchez Moreno, H. J. (2017). *Recuperación de óxido de lantano del catalizador agotado de la unidad de craqueo catalítico fluidizado (FCC)* (Tesis de maestría). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Silva, J. F. (2017). Tecnología de procesos: Alcances y limitaciones. *Economía y Administración (EyA)*, 3(1), 47-64. Recuperado de <https://www.lamjol.info/index.php/EyA/article/view/4340/4085>
- Sheldon, R. (2001). Catalytic reactions in ionic liquids. *Chemical Communications*, (23), 2399-2407. Retrieved from <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2001/cc/b107270f#!divAbstract>

- Sosa, C. D. R. (2017). Educación ambiental: una necesidad en proyectos de ingeniería y tecnología. *Journal of Engineering and Technology*, 6(1), 1-9. Recuperado de <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/jet/article/view/1306>
- Universidad de Medellín. (2016). Grupo de investigación en Ingeniería Civil. Recuperado de <http://www.udem.edu.co/index.php/2012-10-12-13-39-00/grupos/grupo-de-investigacion-en-ingenieria-civil-gici>
- Universidad de Oviedo. (2016). Introducción a los materiales. Recuperado de <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema1.Introduccion.pdf>
- Universidad Católica Luis Amigó. (2016). Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Recuperado de <http://www.funlam.edu.co/modules/facultadingenierias/category.php?categoryid=38>
- Valderrama, J. O., & Forero, L. A. (2012). An analytical expression for the vapor pressure of ionic liquids based on an equation of state. *Fluid Phase Equilibria*, 317, 77-83. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378381211005966>
- Valderrama, J. O., Forero, L. A., y Rojas, R. E. (2012). Critical properties and normal boiling temperature of ionic liquids. Update and a new consistency test. *Industrial y Engineering Chemistry Research*, 51(22), 7838-7844. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie202934g>
- Valderrama, J. O., Forero, L. A., & Rojas, R. E. (2015). Extension of a group contribution method to estimate the critical properties of ionic liquids of high molecular mass. *Industrial y Engineering Chemistry Research*, 54(13), 3480-3487. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.iecr.5b00260>
- Valencia, M. J., y Cardona, C. A. (2013). Influencia del modelo termodinámico en la predicción de la separación de gases de efecto invernadero por destilación. *Ingeniería y Desarrollo*, 31(1), 64-83. Recuperado de <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/4432>
- Vásquez, R. E. y Posada, N. L. (2015). Desarrollo de una Estación Experimental Multipropósito para la Enseñanza en Control de Procesos. *Formación Universitaria*, 8(5), 25-34. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/3735/373544192004/>
- Vazquez-Duhalt, R. (2015). Nanotecnología en procesos ambientales y remediación de la contaminación. *Mundo Nano*, 8(14), 70-80.
- Villamizar-Jaimes, A. R. y López-Giraldo, L. J. (2017). Cáscara de cacao, fuente de polifenoles y fibra: simulación de una planta piloto para su extracción. *Respuestas*, 22(1), 75-83. Recuperado de <http://revistas.ufps.edu.co/ojs/index.php/respuestas/article/view/821/784>

- Zheng, Y., Wang, Z., Peng, F., y Fu, L. (2017). Biosynthesis of silver nanoparticles by *Plectranthus amboinicus* leaf extract and their catalytic activity towards methylene blue degradation. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(1), 41-45. Recuperado de [http://www.redalyc.org/pdf/620/Resumenes/Abstract\\_62049878005\\_2.pdf](http://www.redalyc.org/pdf/620/Resumenes/Abstract_62049878005_2.pdf)
- Zhang, L., Babi, D. K., & Gani, R. (2016). New vistas in chemical product and process design. *Annual review of chemical and biomolecular engineering*, 7, 557-582. Recuperado de <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-chembioeng-080615-034439>
- Zapata, C. D., Martínez, I. D., Arenas Castiblanco, E. y Henao Uribe, C. A. (2007). Producción de biodiesel a partir de aceite crudo de palma: 1. Diseño y simulación de dos procesos continuos. *Dyna*, 74(151), 71-82. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/viewFile/894/1305>
- Zepeda, T. A., León, J. N. D., Alonso-Núñez, G., Olvera, O. y Fuentes, S. (2015). Nanocatalizadores para la producción de energías limpias. *Mundo Nano*, 8(15), 45-52. Recuperado de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/nano/article/view/53815>