

La Industria Química: Importancia y Retos

The Chemical Industry: Importance and Challenges

Nancy Montes-Valencia

Grupo Qualipro- Facultad de producción y diseño

IU- Pascual Bravo

Medellín, Colombia

nmontes@pascualbravo.edu.co

(Recibido el 01-06-2015. Aprobado el 20-06-2015)

Citación de artículo, estilo IEEE:

N. Montes-Valencia, "La Industria Química: Importancia y Retos", Lámpsakos, N° 14, pp. 72-85, 2015

Resumen. La química siempre ha estado presente en la vida del hombre para satisfacer sus necesidades y mejorar su calidad de vida. Hoy en día la industria química es un importante sector industrial presente en la mayoría de países, que dinamiza el crecimiento económico, genera empleo y ofrece diversidad de productos, no obstante produce contaminación al medio ambiente y utiliza recursos naturales no renovables.

Por tanto, surge el concepto de química verde como respuesta a la problemática ambiental cuya estructura es la sostenibilidad, siendo su principal objetivo prevenir la generación de emisiones y armonizar la química con los recursos naturales. Existe un gran reto para la industria química y es encontrar fuentes alternativas de energía para no seguir dependiendo del petróleo, el gas natural y el carbón; una de estas es el uso de la biomasa para la obtención de combustibles líquidos. Aunque otros retos son el cuidado y conservación del agua y los nanomateriales.

Palabras clave: Industria Química; Contaminación; Sostenibilidad; Química Verde; Energía.

Abstract. Chemistry has always been present in the life of human beings to meet their needs and improve their quality of life. The chemical industry is now a major industrial sector present in most countries, which drives economic growth, creates jobs and provides various products; however it causes environmental pollution and uses non-renewable natural resources.

Thus, the concept of green chemistry occurs in response to environmental problems whose structure is sustainability, its main objective is to harmonize the chemical to natural resources and prevent the generation of emissions. There is a major challenge for the chemical industry. This is to find alternative energy sources and become less dependent on oil, natural gas and coal. So the use of biomass for the production of liquid fuels is a good source of energy. Although other challenges are the care and conservation of water and nanomaterials.

Keywords: Chemical Industry; Pollution; Sustainability; Green Chemistry; Energy.

1. INTRODUCCIÓN

Desde la prehistoria el hombre ha estado acompañado de procesos químicos. Muchos de los descubrimientos que le han posibilitado su desarrollo tecnológico y la mejora de su calidad de vida están relacionados con dichos cambios: el fuego, la cocción de los alimentos, la fermentación que permitió la obtención de bebidas, quesos y pan, la elaboración de cerámicas, la obtención de metales y sus aleaciones [1].

Actualmente el desarrollo de la química sigue siendo una necesidad para la supervivencia del ser humano, para la mejora de su calidad de vida [2].

Se puede afirmar que la vida contemporánea y cualquiera de los aspectos que la caracterizan, resultan imposibles sin los conocimientos que proporciona la química como ciencia y sin la aplicación que de ellos hace la industria. Pero resultan innegables, así mismo, los efectos nocivos asociados a la actividad química industrial de los dos últimos siglos por la contaminación que esta genera [3].

Estos contaminantes provenientes de las industrias se dividen en tres categorías (sólido, gas y agua), en la siguiente tabla se muestran algunos de estos, los cuales son producidos por otras industrias además de la química [4].

1 DBO demanda bioquímica de oxígeno, 2 DQO demanda química de oxígeno

La sostenibilidad en el contexto de la química responde a la obligación ética de contribuir al desarrollo y bienestar de todas las naciones del planeta, sin afectar a la naturaleza ni a las generaciones futuras. Esta contribución tiene lugar de manera primordial por la sostenibilidad de la propia actividad química industrial, que ve amenazada la viabilidad de su producción por el previsible agotamiento irreversible de las fuentes de las materias de partida y por las normativas legales, formuladas en defensa de la sociedad y de la naturaleza cada vez más estrictas y costosas [5].

De hecho uno de los grandes desafíos de la sociedad es dar respuesta a este asunto vital que es la sostenibilidad, la cual puede ser entendida como una forma racional de mejorar los procesos para maximizar la producción mientras se minimiza el impacto ambiental [6].

Tabla 1. Contaminantes producidos por la industria siderúrgica, textil, papel y química [4].

Sector industrial	Forma del contaminante			
	Gas	Residuo sólido y residuos del suelo	Agua	Otros
Hierro y acero	SOx, NOx, HC, CO, H ₂ S.	escoria, desechos, lodo de tratamiento de efluentes.	DBO ¹ , DQO ² , aceite, metales, ácidos, fenol, cianuro.	Ruido, material particulado.
Textiles y cuero	SOx, HC	Lodo del tratamiento de efluentes.	DBO, sólidos, sulfatos y cromo, colorantes.	Olor, ruido, material particulado.
Pulpa y papel	SOx, NOx.	Lodo del tratamiento de efluentes.	DBO, DQO, sólidos, Orgánicos clorados.	Olor, ruido, material particulado.
Petroquímica y refinerías	SOx, NOx, HC, CO, H ₂ S.	Catalizador agotado, alquitranes, lodo.	DBO, DQO, aceite, fenoles y cromo.	Olor, ruido, material particulado.
Químicos	Químicos orgánicos	Lodo formado en tratamiento de contaminación y residuos del proceso.	DQO, químicos orgánicos, metales pesados, sólidos y cianuro.	Olor, químicos tóxicos.

Según la agencia para la protección ambiental de los Estados Unidos (siglas en inglés EPA), la sostenibilidad está basada en un principio simple: cada cosa que el hombre necesita para su supervivencia y bienestar depende directa o indirectamente del ambiente natural. La sostenibilidad crea y mantiene las condiciones bajo las cuales los humanos y la naturaleza puedan existir en armonía productiva, que permiten cumplir los requerimientos sociales, económicos, entre otros de las generaciones presentes y futuras [7].

El objetivo de este artículo de revisión fue examinar la influencia de la química en la calidad de vida de la humanidad, su impacto sobre el medio ambiente y las medidas o soluciones que han surgido para controlar, prevenir o mitigar dicho efecto.

La siguiente fue la hipótesis planteada en este trabajo: es posible evidenciar los aportes y consecuencias de la industria química en la sociedad, así como justificar las tendencias y desafíos de esta en el futuro bajo los lineamientos de la sostenibilidad?

Respecto al contenido este artículo está compuesto de varias secciones. La primera es la introducción en la que se muestra la trascendencia de la química en la vida del hombre y su relación con el entorno porque produce residuos y consume recursos naturales. La segunda sección trata sobre la química verde, la cual es una posible solución al desbalance entre los procesos y la productividad con la naturaleza (sostenibilidad) por medio de la prevención de contaminantes.

La tercera sección se denomina la importancia de la química, donde se indica cómo ha crecido la industria química desde la década de los ochenta siendo este crecimiento liderado por Asia. También se muestra que la industria química es el tercer productor de CO₂ y que las regiones más contaminantes del mundo son China y Estados Unidos.

El siguiente apartado es la industria química por sectores, en la que se presenta la contribución de esta al sector de la agricultura, la manufactura y a la sociedad en general desde la química básica, química especializada, química para la industria y el consumo final. Otra sección es la regulación ambiental y seguridad de la industria química, aspecto que es relevante en la misma para proteger al hombre, el ambiente natural y prevenir riesgos por tanto se creó el Programa Cuidado Responsable del Medio Ambiente (PCRMA).

La última sección denominada desafíos de la industria química señala varios retos que debe enfrentar en el futuro como: reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables, las nuevas tecnologías basadas en nanomateriales y disminuir la contaminación del agua.

2. QUÍMICA VERDE

La gran preocupación por la sostenibilidad del planeta, provocó que en los Estados Unidos de América se firmara el Acta de Prevención de la Contaminación en el año 1990 en el que se estableció la reducción de las fuentes de contaminación como prioridad para solucionar los problemas ambientales orientado a la industria, el gobierno y a la sociedad. La aprobación de esta acta significó un alejamiento de los antiguos conceptos de control de la contaminación (control de las emisiones) hacia la prevención de la generación de emisiones, esto originó lo que hoy se conoce como “química verde” o “química sustentable” [8].

La química verde, es definida como el uso de técnicas y metodologías de química que reducen o eliminan el uso o generación de materia prima, productos y subproductos que son peligrosos para la salud humana y el ambiente [9]. En otras palabras la química verde busca promover una química limpia al servicio de la humanidad y en armonía con los recursos naturales [10].

A diferencia de los requerimientos regulatorios para la prevención de la contaminación, la química verde es una aproximación innovadora, no regulatoria y económica dirigida hacia la sostenibilidad [11].

La misión de la química verde se encuentra en la página web del instituto de química verde [12] y viene definida como “promover el desarrollo y uso de tecnologías químicas innovadoras que reduzcan o eliminen el uso o generación de sustancias dañinas en el diseño, manufactura y uso de productos químicos”.

La química verde es elucidada por doce principios, los cuales son unos lineamientos marco. Estos principios fueron desarrollados por Warner y Arnas [13, 14] y permiten analizar procesos y establecer qué tan “verde” puede ser una reacción química, un proceso industrial o un producto, los cuales se enuncian a continuación:

1. Es preferible evitar la producción de un residuo que tratar de limpiarlo una vez que se haya formado.
2. Los métodos de síntesis deberán diseñarse de manera que incorporen al máximo, en el producto final, todos los materiales usados durante el proceso.
3. Siempre que sea posible, los métodos de síntesis deberán diseñarse para utilizar y generar sustancias que tengan poca o ninguna toxicidad, tanto para el hombre como para el medio ambiente.
4. Los productos químicos deberán ser diseñados de manera que mantengan su eficacia a la vez que reduzcan su toxicidad.
5. Se evitará, en lo posible, el uso de sustancias auxiliares (disolventes, reactivos de separación, etcétera) y en el caso de que se utilicen se procurará que sean lo más inocuas posible.

6. Los requerimientos energéticos serán catalogados por su impacto medioambiental y económico, reduciéndose todo lo posible. Se intentará llevar a cabo los métodos de síntesis a temperatura y presión ambiente.
7. La materia prima ha de ser preferiblemente renovable en vez de agotable, siempre que sea técnica y económicamente viable.
8. Se evitará en lo posible la formación de derivados (grupos de bloqueo, de protección/desprotección, modificación temporal de procesos físicos/químicos).
9. Se emplearán catalizadores (lo más selectivos posible) en vez de reactivos estequiométricos.
10. Los productos químicos se diseñarán de tal manera que al finalizar su función no persistan en el medio ambiente, sino que se transformen en productos de degradación inocuos.
11. Las metodologías analíticas serán desarrolladas posteriormente para permitir una monitorización y control en tiempo real del proceso, previo a la formación de sustancias peligrosas.
12. Se elegirán las sustancias empleadas en los procesos químicos de forma que se minimice el potencial de accidentes químicos, incluidas las emanaciones, explosiones e incendios.

Los tipos de productos y procesos que han adoptado los principios de la química verde incluyen medicina, cosméticos [15], polímeros [16], producción de alimentos [17], producción de energía [18], empaques, productos de limpieza del hogar y comercial, industria electrónica [19] y automotriz [20].

Los retos que debe enfrentar la química verde son diseñar y utilizar la materia y energía en una forma que incremente el rendimiento y valor mientras se protege la salud humana y el ambiente [11].

3. IMPORTANCIA DE LA QUÍMICA

La química ha tenido un gran crecimiento desde finales del siglo XIX hasta la actualidad. Este desarrollo se ha basado en la industria del petróleo y sus derivados. En los últimos años del siglo XX se han desarrollado otro tipo de industrias como la producción de polímeros, materiales semiconductores, productos

farmacéuticos y agroquímicos; así como la aparición de nuevas tecnologías como la nanotecnología que tiene una gran base en la química [21].

Desde mediados de los años ochenta la industria química global ha crecido anualmente en un 7%, alcanzando € 2.4 trillones en 2010. En los últimos 25 años la mayor parte del crecimiento ha sido liderado por Asia, el cual posee actualmente la mitad de las ventas globales. La tendencia clave en la economía mundial es el crecimiento en Asia catalizado por la rápida integración de las economías regionales y sociedades en todo el mundo. Más de la mitad de la población del mundo (cerca de cuatro billones de personas) viven en Asia. Además muchas personas se están moviendo a las grandes ciudades, favorecido por la acumulación de la riqueza y consumo, siendo esta urbanización muy alta en China.

Las ventas de la industria química y su tendencia para el año 2030, se muestran en la fig. 1, en la cual se observa que del año 1985 al año 2010 Asia incrementó en un 49% las ventas de productos químicos y proyectándose un aumento del 66% en las ventas para el año 2030. En tanto que las ventas de Europa y North American Free Trade Agreement (NAFTA) muestran un decrecimiento en los mismos periodos mencionados anteriormente [22].

No obstante [23] sostiene que el crecimiento en las ganancias de los productos químicos no solo será más dinámica en los países en desarrollo de Asia-Pacífico, sino en África, el Oriente Medio y Latinoamérica, debido a ventajas competitivas porque poseen reservas de gas natural, como se observa en la fig. 2.

Como se ilustró anteriormente la industria en general juega un importante papel en el desarrollo de la economía del mundo. De otro lado es el mayor consumidor de recursos naturales y unos de los mayores contaminantes globales.

Uno de estos contaminantes son las emisiones de CO₂ (gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático) generado por el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) como fuente de energía, también se genera por la naturaleza de las materias primas utilizadas [24].

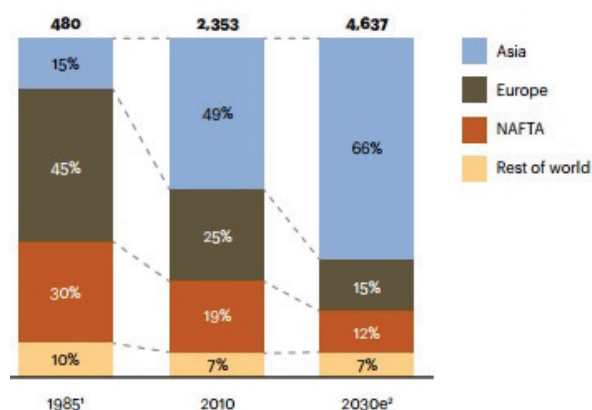


Fig. 1. Ventas de la industria química en el mundo, en billones de euros. 2030 es calculado a precios de 2010 [22].

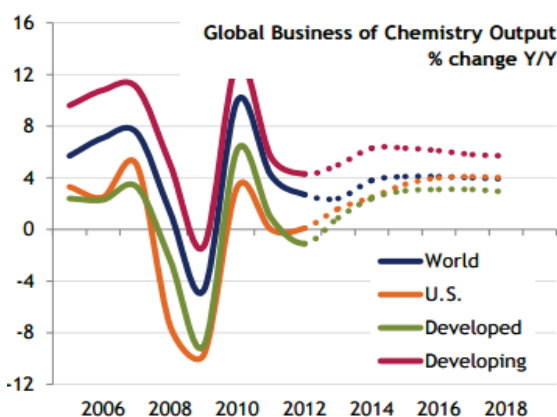


Fig. 2. Crecimiento en las ganancias de la industria química en el mundo [23].

A continuación se observan (Fig. 3 y Fig. 4) las emisiones directas de CO₂ en la industria por sector y por región, notándose que las industrias más contaminantes son la siderúrgica (hierro y acero) y la cementera, estando la industria química en el tercer puesto. En cuanto a las regiones donde se produce más contaminación por la producción de CO₂ se destacan en primer lugar China, en segundo lugar norte américa y en tercer lugar los países que hacen parte de la OCDE europea (Organización ara la Cooperación y Apoyo Económicos) [25].

4. INDUSTRIA QUÍMICA POR SECTORES

Los productos de la industria química se dividen en: química básica, química especializada, química para la industria y el consumo final. Cada una de estas subdivisiones se ampliará a continuación.

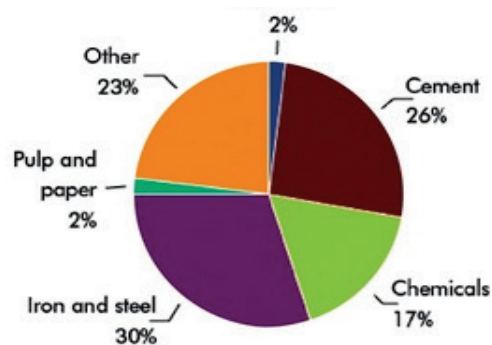


Fig. 3. Emisiones de CO₂ de la industria por sector. Emisión total de CO₂: 7.2 Gt, [25].

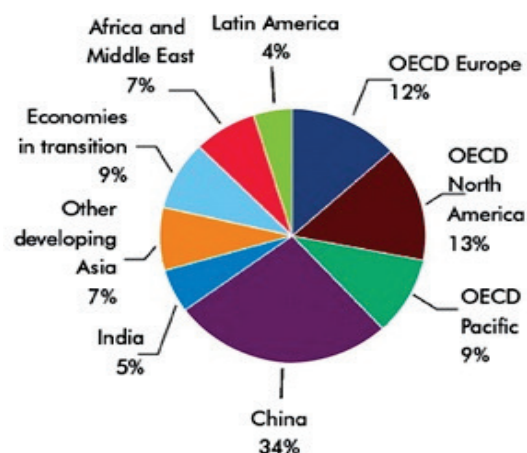


Fig. 4. misiones de co₂ de la industria por región. Emisión total de CO₂: 7.2 Gt [25].

- **Química básica:** que a su vez se subdivide en petroquímica, polímeros e inorgánica básica.

- **Petroquímicos y polímeros:** La industria petroquímica es una plataforma fundamental para el crecimiento y desarrollo de importantes cadenas industriales como son la textil, la automotriz y del transporte, la construcción, los plásticos, los alimentos, los fertilizantes, la farmacéutica y la química. Estos hidrocarburos son convertidos en un amplio rango de químicos básicos con un uso inmediato (petróleo) o son sujetos a reacciones posteriores para producir un producto final útil (por ejemplo cloruro de polivinilo para hacer tuberías). Sin embargo el principal uso de los petroquímicos es en la elaboración de un amplio número de polímeros [26].

Tabla 2. Gasto en i&d en america (millones de us\$), año 2012 [36].

País	Gasto (millones de dólares)
Argentina	3910.37
Brasil	27778.71
Canadá	30751.96
Chile	938.62
Colombia	797.50
México	5160.20
Estados Unidos	452556

Estos polímeros o plásticos derivados del petróleo son no biodegradables causando un problema de eliminación de desechos, de otro lado son materiales que consumen recursos fósiles como el petróleo crudo en grandes cantidades [27, 28].

Los biopolímeros han sido una de las alternativas para ser explotadas y desarrolladas en materiales para el empaque de alimentos debido a que son biodegradables [29].

Desafortunadamente el uso de estos biomateriales como materiales de empaque tienen inconvenientes como pobres propiedades mecánicas y térmicas, poca resistencia al agua y bajas propiedades de barrera al ser comparados con los plásticos convencionales hechos de petróleo, debido a esto muchas investigaciones se centran en mejorar dichas propiedades [30, 31, 32].

- **Inorgánica básica:** los compuestos inorgánicos básicos son utilizados en los sectores de la manufactura y la agricultura, son producidos en grandes cantidades e incluyen el ácido sulfúrico, el ácido nítrico, el carbonato de sodio, entre otros.

Respecto al ácido sulfúrico es uno de los compuestos más importantes hechos por la industria química; con este reactivo se producen: fertilizantes de fosfato, fenol y propanona, entre otros [33].

El crecimiento futuro del ácido sulfúrico será dirigido por el incremento en la población y la extensión de cultivos de alimentos que requerirán significantes cantidades de fertilizantes [34].

- **Química especializada:** esta categoría cubre una amplia variedad de químicos para la protección de cosechas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), pinturas y tintas, colorantes (tintes y pigmentos). También se incluyen químicos usados en diversas industrias como la textil y del papel.

Tabla 3. Fuentes de financiación para i&d en america, año 2012 [36].

País	Go-bierno	Univer-sidad	Empre-sa pública/privada	Organi-zaciones privadas sin ánimo de lucro	Extran-jero
Argentina	74	3.11	21.34	0.95	0.58
Brasil	54.93	1.99	43.07	—	—
Canadá	25.08	17.07	48.37	3.67	5.79
Chile	37.10	9.70	32.91	2.19	18.06
Colombia	41.99	16.38	34.19	4.99	2.42
México	60.80	1.88	35.66	0.81	0.81
Estados Unidos	30.64	2.98	62.98	3.38	—

Existe una tendencia en los Estados Unidos y Europa para centrarse en este sector más que en la química básica porque con una investigación y desarrollo activa (I &D), se generaran químicos de mejor calidad y con rentabilidad más estable. Nuevos productos han sido creados para satisfacer ambas necesidades en los compradores y cumplir a la vez regulaciones ambientales [26].

En el año 2012, se tomó una muestra de 1500 empresas de todo el mundo caracterizadas por invertir más de €34.9 millones de euros en investigación y desarrollo de las cuales 92 pertenecían a la industria química [35].

El gasto en I&D de ciencia y tecnología en América para el año 2012 [36] se detalla a continuación en la tabla 2.

Observándose que los países latinoamericanos con mayor inversión en I&D son Brasil, México y Argentina, en Norteamérica Estados Unidos lidera dicha inversión.

Las fuentes de financiación para la I&D en algunos países del continente americano durante el año 2012 [37] se observa en la tabla 3., notándose que México es el país con más aportes del gobierno y Estados Unidos es el país con más apoyo de la empresa pública y privada.

- **Química para la industria y el consumo final:** este tipo de productos químicos son vendidos directamente al público. Ellos incluyen detergentes, jabones y otros artículos de aseo. La investigación para la obtención de detergentes más efectivos y ambientalmente seguros se ha incrementado en los últimos veinte años, específicamente en encontrar

surfactantes que sean capaces de limpiar casi que cualquier cosa desde una piel sensible hasta grandes plantas industriales [26].

La materia prima para la obtención de los surfactantes es de origen petroquímico y oleofínico (fuentes animales y vegetales), siendo esta última tendencia en concordancia con las regulaciones ambientales porque se buscan productos menos agresivos con el medio ambiente. Sin embargo sus precios son más altos que los tensoactivos sintéticos [38].

Los surfactantes son usados en diferentes aplicaciones, su mayor uso es como limpiadores y detergentes en los hogares, cerca del 56% de la demanda global en 2014 fue para este segmento [39]. Aunque en el campo industrial también son utilizados y últimamente como solventes para realizar extracciones [40].

La región Asia-pacífico domina el mercado global seguido por Norteamérica y Europa. Se proyecta que el mercado de los surfactantes alcance 22,802 Kt (kilotoneladas) en términos de consumo y \$40,286.3 millones de dólares en ventas para el año 2019 [41]. Los surfactantes se clasifican en:

Aniónicos: a este tipo pertenecen los detergentes sintéticos como los alquil benceno sulfonatos, los jabones (sales de sodio de ácidos grasos), los agentes espumantes como el lauril sulfato, los humectantes del tipo sulfosuccinato, los dispersantes del tipo lignosulfonatos, etc. La producción de los surfactantes aniónicos representa alrededor del 55% de los surfactantes producidos anualmente en el mundo [42].

Existen otro tipo de surfactantes tales como los no-iónicos y los catiónicos. Los no-iónicos son utilizados como agentes activos de los detergentes destinados a la limpieza de máquinas. Este es un mercado joven y aún de baja expansión debido a los altos costos de producción y a la tecnología de vanguardia que se necesita para producirlos; sólo en algunos países del hemisferio norte se están produciendo tales sustancias. Los surfactantes catiónicos son destinados a la producción de jabones de limpieza doméstica y cosméticos. Estos productos son de gran importancia en la industria, así como en el sector doméstico y de la salud; es por ello que merecen un espacio importante dentro del campo de investigación de la ingeniería química [43].

5. REGULACIÓN AMBIENTAL Y SEGURIDAD DE LA INDUSTRIA QUÍMICA

Siempre que existan procesos en los que se utilicen la temperatura y la presión para modificar la estructura molecular o crear nuevos productos a partir de productos químicos, existe la posibilidad de incendio, explosión o emisión de líquidos, vapores, gases u otros productos químicos intermedios tóxicos e inflamables, por tanto, la seguridad debe estar como una prioridad en las actividades de la industria [44].

Como ya se ha expresado antes existe gran preocupación por el impacto potencial de ciertos productos químicos en los organismos vivos, incluyendo al hombre y el ambiente natural (contaminación del aire, tierra, mar, calentamiento global, cambio climático, agotamiento del ozono de la atmósfera superior y lluvia ácida). Por consiguiente, surgió en la industria química un plan a nivel mundial denominado el Programa Cuidado Responsable del Medio Ambiente (PCRMA), el cual comenzó en Canadá en 1984 y es practicado en la actualidad en 60 países. El PCRMA es un programa voluntario de la industria química que promueve la mejora continua en las áreas de seguridad, salud ocupacional, medio ambiente y su incorporación a la política interna de las empresas, promoviendo el manejo responsable de los productos químicos en todas las etapas de su utilización y la capacitación del personal [45].

Actualmente ya son más de 53 asociaciones nacionales las que participan activamente en este programa entre las que se encuentran las de países como EEUU, Canadá, México, Gran Bretaña, Francia, Japón, Holanda, Alemania, Bélgica, Brasil, Colombia, Chile, India, Sudáfrica, Nueva Zelanda, Australia, etc., representando más del 80% de la producción mundial de productos químicos [46].

Otra medida ambiental que produce preocupación es el uso de la energía. Primero, porque la fuente de energía proviene de recursos no renovables (petróleo, carbón y gas natural) y en segundo lugar, por las emisiones de dióxido de carbono generadas.

La demanda de energía a nivel mundial se distribuye de la siguiente manera: cerca del 35% corresponde a la industria, 25% al transporte y 40% al consumo residencial y al sector terciario. La industria química ocupa el segundo lugar en consumo de energía, con un gasto del 6% del total de energía, tras la industria siderúrgica [47].

Tabla 4. Oferta de energía primaria (o.E.P) y energía renovable, años 1990 y 2010 [58].

*Mtep millones de toneladas equivalentes de petróleo.

Año	OCDE Américas	OCDE Oceanía	OCDE Europa	OCDE Total
1990				
O.E.P (Mtep*)	2.260	643	1.620	4.523
%Energía renovable	148,21 (6,6%)	25,85 (4,0%)	93,49 (5,8%)	267,56 (5,9%)
%biocarbureante/ bioethanol	—	—	—	—
Año	OCDE Américas	OCDE Oceanía	OCDE Europa	OCDE Total
2010				
O.E.P* (Mtep)	2.691	907	1.814	5.413
%Energía renovable	191,66 (7,1%)	31,40 (3,52%)	188,88 (10,4%)	411,94 (7,6%)
%biocarbureante/ bioetanol	24,8%	4,6%	13,2%	18,1%

Las siguientes son fuentes alternas de energía y se ha pronosticado su estado: el consumo de biomasa aumentará perceptiblemente y la energía nuclear avanzará de manera considerable, mientras que las grandes centrales hidroeléctricas y la energía geotérmica se mantendrán estables. Otras fuentes de energía, como la eólica, la solar y las minicentrales hidroeléctricas se multiplicarán por veinte [48].

6. DESAFÍOS DE LA INDUSTRIA QUÍMICA

El principal desafío es encontrar formas de reducir la dependencia de fuentes de energía como el petróleo y sus derivados [49]. Una alternativa es remplazar los combustibles fósiles por fuentes de energía renovable (FER) hecho que presenta varios efectos positivos uno de estos es que la naturaleza local o doméstica de las FER reduce la dependencia de la energía y así aumenta la seguridad del suministro y minimiza el riesgo de interrupciones por razones geopolíticas [50].

De otro lado no solo se reducen las emisiones de CO₂, sino que se disminuyen otros contaminantes como material particulado, sulfuros, nitrógeno, óxidos y compuestos volátiles orgánicos [51]. También las FER tienen una disponibilidad casi ilimitada, lo opuesto a las escasas reservas de los combustibles fósiles [51]. Además promueven la sostenibilidad porque satisfacen las necesidades ambientales-socioeconómicas del presente y futuro del territorio [52].

Teniendo en cuenta que la biomasa es la única fuente de energía renovable basada en carbono, su demanda potencial se ve incrementada considerablemente, como única fuente renovable de combustibles líquidos (sustitutos de las gasolinas y gasóleos minerales), por consiguiente el uso de tecnologías basadas en biomasa son una forma ambientalmente aceptable, en términos de la energía gastada y los efluentes producidos [49].

Es de aclarar que la forma más tradicional de aprovechamiento energético de la biomasa es la combustión y se le considera como un proceso de carbono neutral porque las emisiones de CO₂ son equilibradas con el CO₂ absorbido previamente por las plantas y árboles mediante la fotosíntesis durante su crecimiento. De hecho para el protocolo de Kyoto la biomasa tiene un factor de emisión de dióxido de carbono (CO₂) igual a cero. Su uso contribuye a reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera siempre y cuando sustituya a un combustible fósil [53].

La transformación de la biomasa en combustibles puede llevarse a cabo por vía química, enzimática, o mediante procesos híbridos, siendo la vía química-catalítica una de las que resultados más prometedores a corto plazo [54].

A partir de la biomasa se pueden obtener productos químicos de elevado valor agregado, donde se integra la viabilidad técnica y económica denominada biorefinería. En estas se integra la obtención de energía eléctrica, combustibles líquidos y productos químicos muy variados. Siendo el etanol una molécula muy valorada porque es considerado como un biocombustible equivalente a la gasolina mineral (bioetanol de primera generación) y sirve como precursor mediante diferentes reacciones catalíticas para producir otros productos de elevado valor [55].

La composición de la biomasa determina la capacidad con la que puede ser convertida en productos finales o intermedios útiles e influye en la funcionalidad del producto final. A pesar de la heterogeneidad de la materia prima, su composición se puede dividir en cuatro macromoléculas principales, obteniendo una clasificación bastante homogénea. Principalmente, un 75 % de la biomasa total se corresponde a hidratos de carbono (en forma de celulosa, hemicelulosa y almidón) y un 20 % está formado por polímeros aromáticos más complejos (denominados

lignina), de forma que sólo un 5 % se correspondería a productos minoritarios, como aceites, grasas y proteínas [56].

A continuación se observa en la tabla 4. la oferta de energía primaria (O.E.P), energía renovable y de la OCDE (Organización para la Cooperación y Apoyo Económicos) por regiones y total en los años 1990 y 2010. Colombia, Rusia y Letonia están en proceso de adhesión a la organización [57, 58].

Puede notarse que el aumento en el uso de energía renovable se ha duplicado en Europa en el periodo comprendido entre 1990-2010, aunque también se ha incrementado en América (países miembros: Canadá Estados Unidos, México, Chile, Brasil). La producción de biocarburantes sólo ha sido significativa desde hace cinco años, con un mayor porcentaje en el continente americano.

Otro desafío de la industria química son las nuevas tecnologías basadas en nanomateriales, las propiedades de estos no están siempre bien identificadas y requieren una valoración de los riesgos de posibles exposiciones que surjan durante su fabricación y uso.

Primero que todo se definirá el término nanotecnología la cual consiste en el diseño y la producción de objetos o estructuras muy pequeños, inferiores a 100 nanómetros (100 millonésimas de milímetro). Los nanomateriales son uno de los productos principales de las nanotecnologías, como partículas, tubos o fibras a nanoescala. A medida que la nanotecnología avanza, se van encontrando aplicaciones para los nanomateriales en el cuidado de la salud, en alimentos, la electrónica, los cosméticos, los textiles, la informática y la protección medioambiental [59, 60, 61, 62, 63].

Las propiedades tecnológicas y benéficas de la ingeniería de materiales se deben a su pequeño tamaño, gran relación de superficie a volumen, alta área superficial, reactividad, a menudo poseen excelente conductividad eléctrica, persistencia y alta resistencia a la tracción y su potencial para formar superficies altamente resistentes, durables y que se autolimpian [64].

Sin embargo, se ha encontrado que estos materiales no solamente poseen propiedades sino que en algunos casos pueden causar daños al hombre o al ambiente. De hecho, la mayoría de las propiedades

típicas que los caracteriza (pequeño tamaño en al menos una dimensión entre 1-100 nm, su gran área superficial por peso y su reactividad) son precisamente las propiedades que los hacen tecnológicamente tan valiosos y estas son probablemente las razones para sus efectos dañinos potenciales [65, 66, 67].

Otro importante reto es la contaminación del agua que se ha convertido en un problema global, causado por el incremento del número de industrias y plantas, contaminantes provenientes del sector de la agricultura, residuos domésticos y municipales [68].

La mayor parte de las aguas residuales son descargadas sin tratamiento en los ríos, lagos y aguas costeras lo cual produce más deterioro en la calidad del agua. Un cambio en la gestión del agua urbana es necesaria para mejorar la sostenibilidad del sistema y debe integrar aspectos económicos, sociales y ambientales a través de prácticas como un manejo integrado de agua lluvia, conservación del agua, reutilización de aguas residuales, gestión racional de la energía, recuperación de nutrientes y separación en la fuente [69].

Existe un tipo de contaminante conocido como contaminantes emergentes descubiertos en los afluentes que provienen de actividades industriales y humanas. La gran mayoría de ellos no tienen normas regulatorias y pueden causar potenciales deterioros en la vida acuática. Los convencionales tratamientos de aguas (físicoquímicos y oxidación) no son siempre efectivos para la remoción de estos contaminantes y se requieren otros métodos [70].

Entre las clases de contaminantes emergentes que demandan una más urgente atención (debido a la escasez de datos ambientales y ecotoxicológicos y de métodos para su análisis y a las posibles consecuencias de su presencia en el medio ambiente) se encuentran: los retardantes de llama bromados, los cloroalcanos, los pesticidas polares, los compuestos perfluorados, los fármacos, las drogas de abuso y los metabolitos y/o productos de degradación de las clases de sustancias anteriores [71].

7. CONCLUSIONES

La química ha contribuido a mejorar la calidad de vida del ser humano desde la prehistoria, posteriormente con la creación de la industria química se ha obtenido

una mayor cantidad y diversidad de productos pero con la emisión de contaminantes a los suelos, aire y agua, por tanto desde esta misma disciplina y con el apoyo de políticas públicas, la academia e I&D, han surgido soluciones que disminuyan o mitiguen la contaminación al medio ambiente siendo algunas de estas: la Química Verde y el Programa Cuidado Responsable del Medio Ambiente (PCRMA).

La sostenibilidad del planeta tierra, es un tema de vital importancia que ha orientado las medidas para reducir la contaminación ambiental producida por las plantas químicas. El uso de recursos naturales (petróleo, carbón, gas natural) para la obtención de energía y el dióxido de carbono generado, así como los demás impactos ambientales, son temas que afectan de una forma directa la sostenibilidad.

Hace aproximadamente veinticinco años Asia ha liderado el crecimiento de la industria química y se proyecta que para el año 2030 conserve esta tendencia, sin embargo, China es el país que más CO₂ produce en el mundo, aunque es de aclarar que estas emisiones no solo provienen de los procesos químicos industriales sino también de la industria siderúrgica (hierro y acero) y la cementera.

El principal desafío de la industria química es encontrar formas de reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables como el petróleo y sus derivados, siendo la biomasa la única fuente de energía renovable basada en carbono, convirtiéndose en la única fuente no convencional de combustibles líquidos.

El objetivo planteado en este artículo se ha cumplido, sin embargo un próximo trabajo de revisión bibliográfica se puede realizar sobre la contaminación de los suelos, sus causas y los métodos utilizados para su descontaminación.

REFERENCIAS

- [1] L. Panizzolo, M. Pistón, M. Terán & M. Torre. "Aportes de la Química al Mejoramiento de la Calidad de Vida". Publicación del programa DAR (Docentes Aprendiendo en Red). Montevideo, Uruguay, Jul. 2012. URL. Disponible: http://www.unesco.org.uy/educacion/fileadmin/educacion/2012/DAR_URUGUAY_2012.pdf
- [2] B. Altava, M. I. Burguete & S. V. Luis, "Educación cooperativa en Química Verde: la experiencia española," *Educación química*, vol.24, pp. 132-138, Feb. 2013.
- [3] R. Mestres, "Química Sostenible: Naturaleza, fines y ámbito," *Educación química*, vol. 24, pp. 103-112, Ene.2013.
- [4] X. Wen. "Industrial pollution," *Enciclopedia of life support systems*. URL. Disponible: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c09/e4-11-02-00.pdf>
- [5] J. C Warner, A. S. Cannon & K. M. Dye, "Green Chemistry," *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 24, pp. 775-799, 2004. doi:10.1016/j.eiar.2004.06.006
- [6] M. Herrero & E. Ibáñez, "Green processes and sustainability: An overview on the extraction of high added-value products from seaweeds and microalgae," *Journal of Supercritical Fluids*, vol. 96, pp. 211-216, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2014.09.006>
- [7] United States Environmental Protection Agency, *What is sustainability?*, 2010, Disponible: <http://www.epa.gov/sustainability/basicinfo.htm#sustainability>
- [8] United States Environmental Protection Agency. *Summary of the Pollution Prevention Act.*, 2009, Disponible: <http://www2.epa.gov/laws-regulations/summary-pollution-prevention-act>.
- [9] W. R. Melchert, B. F. Reis & F.R. Rocha, "Green chemistry and the evolution of flow analysis. A review," *Analytica Chimica Acta*, vol. 714, pp. 8-19. 2012. doi:10.1016/j.aca.2011.11.044
- [10] E. Vargas & L. Ruiz, "Química verde en el siglo XXI; química verde, una química limpia," *Revista cubana de química*, vol. 21, no. 1, pp. 29-32, 2007. URL. Disponible: <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/cq/article/viewFile/2179/1722>
- [11] J. B. Manley, P. T. Anastas & B. W. Cue, "Frontiers in Green Chemistry: meeting the grand challenges for sustainability in R&D and manufacturing," *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, pp. 743-750, 2008. URL. Disponible: doi:10.1016/j.jclepro.2007.02.025

- [12] American Chemical Society, "Green Chemistry Definition", 2010, Disponible: <http://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/what-is-green-chemistry/definition.html> Marzo 19 de 2015.
- [13] P. Anastas, M. Kirchhoff & T. Williamson, "Catalysis as a foundational pillar of green chemistry," *Applied Catalysis A-General*, vol., 221, pp. 3-13, 2001. PII: S0926-860X(01)00793-1
- [14] J. Warner, A. Cannon & K. Dye, "Green chemistry," *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 24, pp. 775-799, 2004. doi:10.1016/j.eiar.2004.06.006
- [15] M. M. Heba, "Green, environment-friendly, analytical tools give insights in pharmaceuticals and cosmetics analysis," *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 66, pp. 176-192, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2014.11.010>
- [16] S. Rudhziah, M. S. A. Rani, A. Ahmad, N. S. Mohamed & H. Kaddami, "Potential of blend of kappa-carrageenan and cellulose derivatives for green polymer electrolyte application," *Industrial Crops and Products*, vol. 72, pp. 133-141, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.12.051>
- [17] X. Yu, Z. Gao, Y. Zeng, "Willingness to pay for the "Green Food in China," *Food Policy*, vol. 45, pp. 80-87, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.01.003>
- [18] U. B. Demirci & P. Miele, "Overview of the relative greenness of the main hydrogen production processes," *Journal of Cleaner Production*, vol. 52, pp. 1-10, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.025>
- [19] A. Scandurra, R. Zafaranab, Y. Tenyac & S. Pignataro, "Chemistry of green encapsulating molding compounds at interfaces with other materials in electronic devices," *Applied Surface Science*, vol. 235, pp. 65-72, 2004. doi:10.1016/j.apsusc.2004.05.139
- [20] A. Ashori, "Review Paper Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries!," *Bioresource Technology*, vol. 99, pp. 4661-4667, 2008. doi:10.1016/j.biortech.2007.09.043
- [21] C. O. Meléndez & A.A. Camacho, "Química verde, la química del nuevo milenio". *Synthesis*, vol. 45, pp. 1-5, 2008. URL. Disponible: http://www.uach.mx/extension_y_difusion/synthesis/2008/10/21/quimica.pdf
- [22] A. T. Kearney, "Chemical industry visión 2030: a European perspective," 2012, 15p. Disponible: <http://bit.ly/1KE19Bf>
- [23] American Chemistry Council, "Year-End 2013 Chemical Industry Situation and Outlook American Chemistry is Back in the Game," Dec. 2013. Disponible: <http://www.americanchemistry.com/Jobs/EconomicStatistics/Year-End-2013-Situation-and-Outlook.pdf>
- [24] T. Coakley, N. Duffy, S. Freiburger, J. Fresner, J. Houben, H. Kern, C. Krenn, C. McCarthy, H. & Raupenstrauch. "Uso de la energía en el sector industria, manual para estudiantes, *Project intelligent use of energy at school, intelligent Europe energy*, Oct. 2010. Disponible: http://www.iuses.eu/materiali/e/MANUALES_PARA_ESTUDIANTES/Manual_industria.pdf
- [25] G. bazán & G. Ortiz, "Sobre el uso eficiente de la energía en la industria química," *Energía a debate*, Nov.-Dic., 2009. URL. Disponible: <http://www.energiaadebate.com/Articulos/Noviembre2009/BazanNov09.htm>
- [26] SENER Petroquímica.. SENER, México, 2015. Disponible: http://www.sener.gob.mx/res/86/Petroquimica_final.pdf
- [27] M. Avella, J. J. D. Vlieger, M. E. Errico, S. Fischer, P. Vacca & M. G. Volpe, "Biodegradable Starch/Clay Nanocomposite Films for Food Packaging Applications," *Food Chemistry*, vol. 93, pp. 467-474, 2005. doi:10.1016/j.foodchem.2004.10.024
- [28] N. Peelman, P. Ragaert, B. De Meulenaer, D. Adons, R. Peeters, L. Cardon, F. Van Impe, F. Devlieghere, "Application of bioplastics for food packaging," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 32, pp. 128-141, 2013. Disponible: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2013.06.003>
- [29] A. Sukan, I. Roy & T. Keshavarz, "Review Dual production of biopolymers from bacteria," *Carbohydrate Polymers*, vol. 126, pp. 47-51, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.001>

- [30] M. Abdollahi, M. Rezaei & G. Farzi, "A novel active bionanocomposite film incorporating rosemary essential oil and nanoclay into chitosan," *Journal of Food Engineering*, vol. 111, pp. 343–350, 2012. doi:10.1016/j.foodeng.2012.02.012
- [31] P. Kanmani & J. W. Rhim, "Physical, Mechanical and Antimicrobial Properties of Gelatin Based Active Nanocomposite Films Containing AgNPs and Nanoclay," *Food Hydrocolloids*, vol. 35, pp. 644–652, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.08.011>
- [32] A. M. Nafchi, R. Nassiri, S. Sheibani, F. Ariffin & A. A. Karim, "Preparation and Characterization of Bionanocomposite Films Filled with Nanorod-Rich Zinc Oxide," *Carbohydrate Polymers*, vol. 96, pp. 233–239, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.03.055>
- [33] The Columbia encyclopedia, "Sulfuric Acid" 6th ed. Disponible en: http://www.encyclopedia.com/topic/sulfuric_acid.aspx Accedido: Febrero 2015
- [34]. Chemical Economics Handbook. "Sulfuric acid".. URL.<https://www.ihs.com/products/sulfuric-acid-chemical-economics-handbook.html> Accedido: Febrero 2015
- [35]. Joint Research Centre Directorate-General for Research and Innovation. "The 2012 EU industrial R&D Investment Scoreboard". Luxembourg. 2013. doi:10.2791/30423
- [36]. Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana e interamericana (RICYT), *Red de insumo, Gasto en ciencia y tecnología en dólares*. URL. Disponible: <http://www.ricyt.org/comparativos-sp-469065143> Accedido: Marzo 2015.
- [37] Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana e interamericana (RICYT), *Red de insumo, Gasto en I&D por sector de financiamiento*. URL. Disponible: <http://www.ricyt.org/comparativos-sp-469065143>. Marzo 31 de 2015.
- [38] M. Álvarez, "La industria de los surfactantes: Tendencias mundiales y perspectivas para Colombia," *Palmas*, vol. 25, no. Especial, Tomo I, pp. 340–353, 2004. URL. Disponible: <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1050>
- [39] Ceresana, "Market Study: Surfactants". 2015, URL. <http://www.ceresana.com/en/market-studies/chemicals/surfactants/> .
- [40]. W. Bi, M. Tian & K. H. Row, "Extraction and concentration of tanshinones in *Salvia miltiorrhiza* Bunge by task-specific non-ionic surfactant assistance," *Food Chemistry*, vol. 126, pp. 1985–1990, 2011. doi:10.1016/j.foodchem.2010.12.059
- [41]. Surfactants Market worth \$40.286.3 Million by 2019, **2015**, URL. : <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/surfactants.asp>
- [42]. J. L. Salager, "Surfactantes tipos y usos," *módulo de enseñanza en fenómenos interfaciales. cuaderno firp S300-a*. Mérida, Venezuela. 2002. URL. Disponible: <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S300A.pdf>
- [43]. N. A Gómez, "Modelamiento y simulación de un reactor industrial de película descendente para la producción de surfactantes aniónicos". (Tesis de maestría dirigida por M.A. Gómez), Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia, 2013. Disponible: <http://www.bdigital.unal.edu.co/11816/1/4101005.2013.pdf>
- [44]. R. S. Kraus, "Elaboración de un programa de gestión de seguridad de procesos," *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. URL. Disponible: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/77.pdf>
- [45]. *Programa Cuidado Responsable del Medio Ambiente*, Cámara de la industria química y petroquímica. Disponible: <http://bit.ly/1iQSI57> Abril 04 de 2015.
- [46] *Qué es Cuidado Responsable*. , 2014, Disponible: <http://bit.ly/1jj0H5n>
- [47] A. Sanz. "Materias primas: reservas, suministro de energía y productos básicos de la Industria Química Orgánica", **2014**, Disponible: <http://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-01.php>.

- [48] *Perspectivas de la evolución mundial hasta 2030 en los ámbitos de la energía, la tecnología y la política climática*, 2012, Disponible: http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/key_messages_es.pdf
- [49] G. W. Huber & S. Iborra, A. Corma. "Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysts and engineering," *Chemical Reviews*, vol.106, pp. 4044-4098, 2006. URL. Disponible: <http://bit.ly/1OXnujr>
- [50]. G. Escribano, J.M. Marín-Quemada & E. San Martín, "RES and risk: renewable energy's contribution to energy security. A portfolio-based approach," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 26, pp. 549–59, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.015>
- [51]. B. Johansson, "Security aspects of future renewable energy systems: a short overview," *Energy*, vol. 61, pp. 598-605, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.09.023>.
- [52]. M.C. Chuang & H.W Ma, "Energy security and improvements in the function of diversity indices—Taiwan energy supply structure case study," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 24, pp. 9–20, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.021>.
- [53]. *Biomasa*, Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2010, Disponible en: <http://bit.ly/1Ve9siu>.
- [54]. L. Faba, E. Díaz & S. Ordóñez, "La biomasa como materia prima para la obtención de combustibles líquidos," *Ecotimes, revista ambientum.com*, Junio 2013. Disponible en: <http://bit.ly/1YGhxeV>
- [55]. J. Quesada, L. Faba, E. Díaz & S. Ordóñez, "la biomasa como alternativa al petróleo para la obtención de productos químicos: acetona y etanol como moléculas plataforma," *Avances en Ciencias e Ingeniería*, vol. 5, No. 2, pp. 31-49, 2014. URL. Disponible: <http://www.redalyc.org/pdf/3236/323631115003.pdf>
- [56] A. Corma, S. Iborra & A. Velti, "Chemical routes for the transformation of biomass into Chemicals," *Chemical Reviews*, vol. 107, no.6, pp. 2411-2502, 2007. URL. Disponible: <https://www.pharosproject.net/uploads/files/cml/1393448498.pdf>
- [57] *Mejores políticas para una vida mejor*, OCDE, Países miembros. Disponible en: <http://www.oecd.org/centrodemexico/laocde/>. Abril 10 de 2015.
- [58] E., Cerdá, "Energía obtenida a partir de biomasa," *Cuadernos económicos de ice*, no. 83, pp. 117-140. Disponible en: <http://bit.ly/1WnTf7x>.
- [59] Cogeneris SPRL, "Nanomateriales". Disponible en: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/nanomaterials/es/index.htm#1
- [60] P. Brandhoff, H. Marvin, S. Weigel & P. Ruud, "State of the safety assessment and current use of nanomaterials in food and food production," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 40, pp. 200-210. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2014.08.009>
- [61]. S. Nazir, T. Hussain, A. Ayub, U. Rashid & A. MacRobert, "Nanomaterials in combating cancer: Therapeutic applications and developments," *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, vol.10, pp.19–34, 2014. URL. Disponible: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nano.2013.07.001>
- [62]. C. Som, P. Wick, H. Krug & B. Nowack. "Environmental and health effects of nanomaterials in nanotextiles and façade coatings". *Environment International*, Vol. 37, pp. 1131–1142. 2011 DOI: 10.1016/j.envint.2011.02.013
- [63]. R. Wu, K. Zhou, C. Y Yue, J. Wei & Y. Pan. "Recent progress in synthesis, properties and potential applications of SiC nanomaterials," *Progress in Materials Science*, vol. 72, pp. 1–60, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.01.003>
- [64]. M. C. Roco, C. A. Mirkin & M. C Hersam, "Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: summary of international study," *Journal of nanoparticle research*, Mar. 2011. URL. Disponible: https://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/MCR_11-0301_Nanotechnology_Research_Directions_To_2020_JNR13.pdf

- [65] K. Savolainen, H. Alenius, H. Norppa, L. Pylkkänen, T. Tuomi & G. Kasper, "Risk assessment of engineered nanomaterials and nanotechnologies-a review," *Toxicology*, vol. 269, pp.92-104, 2010. doi:10.1016/j.tox.2010.01.013
- [66] A. Manke, L. Wang & Y. Rojanasakul, "Pulmonary toxicity and fibrogenic response of carbon nanotubes," *Toxicology mechanisms and methods*, vol. 23, no.3, pp.196-206, 2013. DOI: 10.3109/15376516.2012.753967
- [67] B.N. Snyder-Talkington, Y. Qian, V. Castranova, N. L. Guo. "New Perspectives for In Vitro Risk Assessment of Multi-Walled Carbon Nanotubes: Application of Coculture and Bioinformatics," *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews*, vol. 15, no. 7, pp. 468-492, 2012. doi: 10.1080/10937404.2012.736856.
- [68] Md. S. Islam & M. Tanaka, "Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 48, no.7-8, pp. 624-649, 2004. doi:10.1016/j.marpolbul.2003.12.004
- [69] G. T. Daigger, "Evolving urban water and residuals management paradigms: water reclamation and reuse, decentralization, and resource recovery," *Water Environment Research*, vol.81, no. 8, pp. 809-823, 2009. URL. <http://bit.ly/1KA4sfl>
- [70] M. Grassi, V. Belgiorno & G. Lofrano. "Removal of Emerging Contaminants from Water and Wastewater by Adsorption Process," en *Emerging compounds removal from wastewater natural and solar based treatments*. Lofrano, G (ed), 94p., 2012. DOI: 10.1007/978-94-007-3916-1_2
- [71] L. D. Barceló & M. J. López de Alda. "Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes" En *Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas*. URL. Disponible: <http://www.unizar.es/fnca/varios/panel/15.pdf>. Julio 20 de 2015.