

Emulsiones, surfactantes y polímeros: algunas implicaciones para la ciencia, la tecnología y los negocios *

Dra. María Teresa Celis ¹

Universidad de Los Andes, Venezuela.
Correo: mariaiteresa.celis@gmail.com

RESUMEN

El presente escrito relata la experiencia de la autora como investigadora en las ciencias químicas, como una fusión y gran ejemplo de la ciencia aplicada al servicio de los negocios en aspectos tan cruciales como el desarrollo de nuevos productos para la conquista de nuevos mercados, a partir de la satisfacción de deseos y expectativas del cliente. La misma destaca implícitamente la importancia de una de las actividades más importantes dentro de la gestión de operaciones como son las actividades de investigación, para el impulso de nuevos materiales y procedimientos los cuales contribuyen con el desarrollo de nuevos productos de mejor calidad y a menores costos, y con técnicas de saneamiento del planeta más amigables con el ambiente. Se concluye que para la industria de los alimentos, la farmacéutica y agroquímica, la petroquímica, los polímeros y lubricantes, la industria de pinturas y pigmentos, son algunas de las industrias directamente beneficiadas por los avances en el campo de la investigación de los polímeros, los surfactantes y las emulsiones que son capaces de formar; pero la relevancia estratégica es todavía más elevada especialmente en el campo de la medicina y la farmacia donde se comienza a visualizar nuevos procedimientos y medicamentos, para la mejora de la calidad de vida.

Palabras Clave: industria, farmacéutica, química, cosmética, agroindustria, negocios.

(*)Discurso de incorporación como miembro correspondiente Estatal de la Academia de Mérida, Venezuela, presentado por la autora el 15 de octubre del 2018.

¹ Investigadora y profesora titular de la Facultad de Ingeniería Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Ingeniera Química de la ULA. Master In Chemical Engineering y Doctor of Philosophy (Ph.D.), de la University of South Florida-Tampa-USA. Post Doctorado de la University of South Florida-Tampa-USA. Coordinadora del Vicerrectorado Académico-Universidad de los Andes, Venezuela. Directora fundadora de la escuela básica de la Facultad de Ingeniería. Directora y fundadora del Laboratorio Polímeros y Coloides (POLYCOL) de la ULA. Editora de la Revista de Ciencia e Ingeniería -ULA. Ex coordinadora (E) del CDCHTA. Miembro de las asociaciones científicas: Omega Chi Epsilon, Chemical Engineering Department, University of South Florida, Tampa, Fl (U.S.A.) y Beta, Gamma, Pi, University of South Florida, Tampa, Fl (U.S.A.). Autora de más de 50 trabajos en revistas científicas internacionales y conferencista invitada en más de 60 eventos internacionales. Coordinadora de más de 70 proyectos de investigación financiados por el Cdchta, Procter and Gamble, Ocean Optics, Nanoziser (Beckman and Coulter), Imperial Chemical Industries y Johnson Polymers Company. Acreedora de la patente internacional en Derrame Petrolero y Limpieza de Pozos en El Golfo de México(USA).

Discurso experiencial

Emulsions, surfactants and polymers: some implications for science, technology and business

Abstract

This writing relates the author's experience as a researcher in the chemical sciences, as a fusion and great example of science applied to the service of business in such crucial aspects as the development of new products to conquer new markets, to starting from the satisfaction of customer wishes and expectations. It implicitly highlights the importance of one of the most important activities within operations management, such as research and development activities, for the development of new materials and procedures which contribute to the development of new products of better quality and lesser ones. costs, and with more environmentally friendly planet sanitation techniques. It is concluded that for the food industry, the pharmaceutical and agrochemical industries, the petrochemical industry, polymers and lubricants, the paint and pigment industry, are some of the industries directly benefited by advances in the field of polymer research, the surfactants and emulsions that they are capable of forming; But the strategic relevance is even higher, especially in the field of medicine and pharmacy, where new procedures and drugs are beginning to be visualized, to improve the quality of life.

Key Words: industry, pharmaceutical, chemical, cosmetic, agribusiness, business.

Recibido: 22-01-2020

Revisado: 10-02-2020

Aceptado: 28-05-2020

Como citar este artículo - How to cite this article

Celis, M.T. (2020). Emulsiones, surfactantes y polímeros: algunas implicaciones para la ciencia, la tecnología y los negocios. *Revista Visión Gerencial*, 19(2), 287-297.

Recuperado de: <http://erevistas.saber.ula.ve/visiongerencial>

1. Introducción

En 1860, Thomas Graham (1805-1869), químico de origen británico, observó que sustancias como el almidón, la cola (goma), la gelatina o la ovo-albúmina, difunden en el agua con gran lentitud en comparación con el azúcar o la sal de cocina. También observó que de todas las sustancias mencionadas, solo el azúcar y la sal podían formar cristales a partir de sus disoluciones¹.

Graham seguiría con sus investigaciones, muchas de naturaleza empírica, y es necesario destacar que fue él primero en acuñar el término "coloide", y lo utilizó para describir una clase de sustancias químicas, diferentes al azúcar y la sal de cocina, pero que tienen la capacidad de dispersarse en un disolvente como el agua.

Más adelante, ya en el siglo XX, la investigación exhaustiva sobre los coloides permitió sentar las bases fisicoquímicas de estos sistemas. Por ejemplo, se realizaron importantes descubrimientos sobre el tamaño y movimiento de las partículas coloidales, los cuales fueron realizados en 1906 por el físico austrohúngaro Marian Smoluchowski² (1872-1917) y el químico sueco Theodor Svedberg³ (1884-1971); éste último ganó el Premio Nobel de Química en 1926 por sus trabajos sobre la fisicoquímica de los sistemas dispersos. Por otro lado, y en 1908, el también Premio Nobel en Física (1926) y fisicoquímico de origen francés Jean Baptiste Perrin⁴ (1870-1942), entrará a describir el equilibrio y los fenómenos de transporte en sistemas dispersos (equilibrio de sedimentación). También en 1908, el propio Albert Einstein⁵ describió un fenómeno de interés para los sistemas coloidales, el movimiento browniano, el cual incluye el movimiento de las partículas coloidales que, al ser observadas por medio de un microscopio de alta resolución, se mueven erráticamente debido a que el medio "perturba" a las partículas que están dispersas en él. Este movimiento aleatorio (estocástico), fue denominado "movimiento browniano", en honor del botánico inglés Robert Brown que, en 1827, observó que los granos de polen suspendidos en agua presentan un movimiento aleatorio.

Sobre las bases fisicoquímicas desarrolladas en la primera mitad del siglo XX, la definición de coloide establece que se trata de mezclas en la que partículas nanométricas relativamente grandes, a las cuales se les denominó como "fase dispersa", se distribuyen de manera uniforme a través de un medio que actúa como disolvente, al cual se le asignó el nombre de "fase continua" o medio de distribución⁶.

La importancia de los coloides⁷ es significativa, muchos sistemas de la naturaleza y de la vida cotidiana son coloidales, especialmente en la actividad industrial y en los negocios, razón por la cual su estudio tiene una importancia capital. En tal sentido, es necesario señalar que los coloides se clasifican según el estado de la fase dispersa, ya sea sólida, líquida o gaseosa, y de acuerdo a la naturaleza de la propia fase continua.

Un "sol" es un sistema coloidal cuya fase continua es un líquido o un gas y, en éste último caso, el sol pasa a denominarse "aerosol". La neblina, tan característica en las regiones frías como los Andes, es un aerosol de fase continua gaseosa y fase dispersa líquida. El humo es un aerosol con una fase dispersa sólida o líquida; de hecho, en el humo del tabaco la fase dispersa es líquida. El smog que contamina la atmósfera de las grandes ciudades es un aerosol cuya fase dispersa consiste en pequeñas gotas de ácido sulfúrico (H_2SO_4) o sulfato de amonio $(NH_4)_2SO_4$, que resultan de la quema de combustibles ricos en azufre en los motores de combustión interna del parque automotor. Este aerosol, rico en sulfatos, es responsable de la lluvia ácida que tanto perjudica la salud de los habitantes de las grandes metrópolis urbanas, y la integridad de las fachadas de los edificios y de las obras de arte.

En la industria de los alimentos, la farmacéutica y en la cosmetología, es usual el uso del "gel", el cual también es un coloide pero, en este caso, la fase continua es sólida y la fase dispersa es un líquido, como en el caso de la mantequilla. Por su parte, una espuma es un coloide en el cual tenemos una fase dispersa formada por burbujas gaseosas en una fase continua líquida o sólida. A pesar

de que los diámetros de las burbujas se encuentran en el orden de los 1000 nanómetros, la distancia entre ellas es menor, por lo que las espumas son sistemas coloidales y en ellas la fase continua se encuentra en estado coloidal. Las espumas resultan para todos muy familiares, especialmente en el jabón o la espuma de afeitar y las bebidas espumantes. La piedra pómez es un caso interesante, dentro de la industria cosmética, pues se origina como una espuma de burbujas de aire dispersas en roca volcánica fundida. Por otra parte, algunas aleaciones pueden ser consideradas coloides, donde tanto la fase continua como la fase dispersa son sólidas, como en acero.

Finalmente, en el campo de las dispersiones coloidales es imprescindible destacar las "emulsiones"⁸, que vienen a ser coloides donde la fase continua y la fase dispersa son líquidas, de allí la importancia de este tipo de coloides, que ocupa en buena medida el trabajo de investigación multidisciplinario de muchos grupos y laboratorios, tanto de universidades como del sector industrial.

En el área de la ingeniería química, la preparación de emulsiones tiene un papel crucial dentro de los procesos que se manejan. De hecho, la industria química concentra buena parte de sus acciones en procesar sustancias a fin de llevarlas hasta la forma de una emulsión.

Llegados a este punto es menester hacernos la siguiente pregunta: ¿en qué radica la importancia del estudio de las emulsiones? La respuesta comienza por señalar que en casi todos los aspectos de la vida cotidiana tenemos presente algún tipo de emulsión y es necesario conocer los procesos tecnológicos asociados a fin de mejorar cada día más.

La mayonesa, muchos aceites comestibles, los aderezos o salsas, bebidas alimenticias⁹, productos de higiene y para el hogar, sólo por dar algunos ejemplos, son emulsiones que vamos a encontrar en los anaqueles de supermercados y abastos. Pero no es solo allí donde podemos encontrar emulsiones; en el campo de la industria farmacéutica aparecen bajo la forma de jarabes que son recetados para el tratamiento de diversas enfermedades. En el campo de los cosméticos, muchos productos de cuidado

de la piel son emulsiones. En la agricultura, un cantidad de agroquímicos se encuentran en forma de aerosoles o emulsiones. Finalmente, en la industria petrolera, un área de desarrollo estratégico para un país como Venezuela, el campo de las emulsiones tiene un papel preponderante en la formulación de productos que le dan un alto valor agregado al petróleo, comenzando por los aceites y lubricantes, sin dejar de mencionar la Orimulsión®, un producto "made in Venezuela" desarrollado en buena medida aquí en la Universidad de Los Andes por el Laboratorio de Fenómenos Interfaciales y Recuperación del Petróleo, actualmente, Laboratorio de Formulación, Interfases, Reología y Procesos (FIRP), en el cual la autora del presente escrito ha desarrollado desde 1984 buena parte de mi experiencia científica, mientras que, desde el año 2005, es el Laboratorio de Polímeros y Coloides (POLYCOL), donde ha venido perfeccionando nuevas líneas de investigación. Ambos laboratorios son unidades de investigación reconocidas, y adscritas a la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes.

A continuación, se desarrolla una breve revisión, en formato de divulgación científica¹⁰, sobre el área de los coloides, las emulsiones, los surfactantes y los polímeros, un campo de trabajo fascinante donde la autora lleva treinta y cinco años ininterrumpidos adelantando proyectos de investigación junto a un nutrido grupo de colegas encabezados por el distinguido académico Dr. Jean Louis Salager.

2. De las emulsiones a las nanoemulsiones, y su uso comercial

Un soluto oleoso como el aceite comestible, se puede mezclar mecánicamente con un disolvente como el agua, para producir una emulsión de finas gotas del aceite en el agua, y uno de los más conocidos ejemplos de este sistema es la mayonesa casera. También es posible lo inverso, es decir, suspender finas gotas de agua en una fase oleosa¹¹, en cualquiera de los dos casos, la tensión interfacial entre el agua y el aceite, a lo que se suma una gran

área interfacial, implica que la emulsión tiene una gran energía de Gibbs en comparación con los componentes individuales. La energía libre de Gibbs, denominada así en honor J. Willard Gibbs (1839-1903), profesor de física y matemáticas en Yale desde 1871 hasta 1900, a quien muchos consideran como el más notable científico que ha dado Estados Unidos, es una medida de la termodinámica del sistema, y un parámetro fundamental para comprender su fisicoquímica. Obviamente, en este caso, para poder suministrar energía de Gibbs, debe gastarse una cantidad igual de trabajo mecánico de mezclado que, para la mayonesa casera, viene de las manos de las amas casa, las cuales, con dedicación preparan día a día los alimentos a su núcleo familiar. ¡Las amas de casa son las grandes generadoras de energía Gibbs en el hogar!

En los últimos lustros, se han encontrado sistemas dispersos de dos líquidos inmiscibles entre sí con tamaño de gota submicrométrico (de 20 nm a 500 nm) denominados nano-emulsiones, los cuales poseen propiedades interesantes para aplicaciones que van desde usos médicos hasta industriales; de allí el interés de los investigadores tanto de sector académico como del sector industrial¹².

Aquí en la Universidad de Los Andes, se puede señalar como un ejemplo interesante la formulación de una crema dermocosmética a base de una emulsión con tamaño de gota submicrométrico, aceite en agua (O/W), preparada por un método de baja energía, donde se optimizaron una serie de parámetros fisicoquímicos, produciendo una emulsión de distribución monodispersa, aplicable para el tratamiento de la celulitis¹³.

Ya se obtuvo una patente sobre emulsiones finas (nanométricas) de aceite en agua con aplicaciones tópicas, las cuales pueden ser utilizadas para la limpieza de cutis, maquillaje y cuidado de la piel, cabello, pestañas, uñas, y mucosas¹⁴.

Las nanoemulsiones de aceite en agua tienen una gran variedad de aplicaciones y, en el laboratorio FIRP, se ha llegado a la encapsulación de triglicéridos (aceite de soya) para obtener emulsiones de uso

parenteral¹⁵. Esta tecnología tiene un interesante campo de aplicación en la encapsulación de sabores, y el caso emblemático es el bien conocido aceite de hígado de bacalao, que posee un sabor poco atrayente. Este procedimiento se utiliza también en la liberación controlada de fármacos, pues permite transportarlos al interior del organismo y liberarlos de manera controlada. Y, por otra parte, tiene un interesante uso en el área de la administración de medicamentos por vía intravenosa y transdérmica.

Se pueden también encapsular aceites esenciales y vegetales, un trabajo en el cual hemos venido incursionando desde el Laboratorio POLYCOL. Estos aceites esenciales tienen diversas aplicaciones en el campo farmacéutico e industrial y, en el caso venezolano, la rica fitoquímica de sus plantas es un aliciente para la investigación. Es importante señalar, que este tipo de procedimiento puede servir como medio de reacción para generar nuevos materiales importantes en áreas como los polímeros, las cerámicas, los catalizadores, entre otras.

En resumen, las nanoemulsiones pueden tener muchas aplicaciones tanto en la industria química, farmacéutica, cosmética, alimenticia, entre otras, en los cuales se comercializan innumerables productos de gran demanda a nivel mundial. En consecuencia, es muy importante que se continúe su estudio, a fin de llegar a formular productos de mejor calidad y a menores costos.

3. Los surfactantes en la industria

La formación de una emulsión tiene un costo energético valorado en términos de la energía de Gibbs del proceso, razón por la cual lo ideal es buscar un aditivo que permita disminuir este costo y mejorar el proceso de dispersión. La adición de una sustancia que funcione como un agente de superficie activo (un surfactante), por ejemplo un jabón o un detergente o cualquier otra molécula con un extremo polar y otro apolar, disminuye considerablemente la tensión interfacial y, por lo tanto, reduce la energía de Gibbs requerida para alcanzar la formación de la emulsión. ¡En esto consiste la genialidad del

uso de surfactantes en el área de las emulsiones!

Un surfactante, es una sustancia química que, en razón de su particular estructura molecular, manifiesta una doble afinidad, tanto por las sustancias polares (como el agua) como por las apolares (los aceites), es decir, es una sustancia anfifílica (MarcadorDePosición1)¹⁶. Una característica resaltante de los surfactantes es la posibilidad de asociarse en estructuras masivas organizadas denominadas "micelas" y en ellas, el grupo que no tiene afinidad por el solvente se aleja o sustrae de éste. Las micelas se forman por encima de una cierta concentración, llamada "concentración micelar crítica" (CMC)¹⁷ y, una vez formada, el interior de la micela será una región exclusiva para aquellas sustancias que son incompatibles con el disolvente, las cuales pueden entrar espontáneamente en un proceso de solubilización¹⁸.

Las aplicaciones de los surfactantes se extienden por un gran número de áreas, tantas como son las aplicaciones de las emulsiones¹⁹. De esta manera, tenemos surfactantes con aplicaciones agroindustriales y en la industria de alimentos, en la minería, la industria de la pulpa y el papel, el área de la higiene y la limpieza o en la industria petrolera, solo por mencionar algunas áreas específicas.

Por ejemplo, en la agricultura²⁰ los insecticidas, herbicidas, plaguicidas y fungicidas, se aplican bajo la forma de aerosoles o espumas que se forman dispersando el agroquímico en una emulsión donde se utiliza un surfactante.

En la industria de alimentos²¹ destaca la emblemática elaboración de las mayonesas y otras salsas, así como otras muchas mezclas alimenticias donde los surfactantes permiten homogenizar los sistemas lípido/agua.

En la minería²², los conocidos procesos de flotación, a través del cual se separan la mena de la ganga, utiliza surfactantes que permiten recuperar minerales nativos (sulfuros) de oro, plata, cobre, hierro cinc, titanio, plomo, entre otros, que luego son procesados para obtener el metal puro.

En la industria de pulpa y papel²³ se requiere degradar la lignina para obtener la

materia prima útil. En general, este polímero es degradado en un medio fuertemente alcalino, para finalmente solubilizarlo mediante la formación de nuevas sustancias que, a final de cuentas, son también surfactantes.

En el área de la higiene, la limpieza y otros productos de consumo²⁴, el uso de jabones y detergentes constituye la columna vertebral. Se trata de surfactantes como los clásicos palmitato de potasio y palmitato de trietanolamonio, producidos por saponificación de grasas de origen natural, cuya acción limpiadora se basa en la capacidad para emulsionar y atrapar las moléculas grasosas que normalmente causan el sucio. Los detergentes, fundamentalmente de origen sintético, se basan en tensoactivos como los alquilbencenosulfonatos (ABS), etoxilatos, etoxisulfatos y sulfatos de alcohol, etoxilatos de nonilfenol, la mayoría surfactantes de naturaleza aniónica que forman parte de las formulaciones de los detergentes para lavar ropa y para otros usos de la higiene del hogar o la industria. Algunos tensoactivos catiónicos, como el cloruro de hexadeciltrimetilamonio, si bien no son buenos detergentes, tienen una notable capacidad germicida y se usan como agentes limpiadores en la industria de alimentos y lácteos.

El mercado de jabones y detergentes es muy importante para la industria de surfactante y, solo por tener una referencia cercana, en Argentina se produjeron para el 2016, 67.502 toneladas de jabón de tocador y jabones de lavar (líquido y en panelas), mientras que fueron 765.823 toneladas de detergentes en polvo, líquidos y de uso industrial; limpiadores abrasivos o no-abrasivos, y limpiadores líquidos²⁵.

En el área de la industria petrolera²⁶, las aplicaciones de los surfactantes comienzan por los lodos de perforación, una mezcla compleja de agua, aceite, arcillas, surfactantes, y polímeros, entre otros materiales, que lubrican y ayudan a medida que se avanza en la perforación de un pozo petrolero. La estimulación y recuperación de pozos es otra área de interés, especialmente cuando se quiere aumentar el rendimiento de los yacimientos, esto se lleva a cabo

inyectando literalmente una emulsión, un surfactante o, en algunos casos, una mezcla de naturaleza ácida, que va a interactuar con el perfil rocoso o con el petróleo remanente en el yacimiento. Finalmente, este petróleo será recuperado como una mezcla compleja y emulsionada que estará sometida a un tratamiento posterior. La Orimulsión® merece un capítulo aparte por el interés y por la participación de la ULA y del laboratorio FIRP en su creación, sin embargo, resumiendo se puede señalar que se trata de una mezcla basada en el bitumen de la faja petrolífera del Orinoco al cual se agrega agua y un surfactante, que genera una emulsión con la cual se puede manejar este tipo de petróleo extrapesado.

4. De las emulsiones a los polímeros, al servicio de la vida del planeta.

En este momento se aprovecha para señalar una aplicación de los surfactante en el área medioambiental²⁷, especialmente en el caso de los derrames petroleros en el mar. En este campo, la autora del presente trabajo ha venido incursionando desde hace un lustro, desarrollando un surfactante de origen natural destinado a combatir este tipo de contaminación. Las tristemente conocidas "mareas negras", producidas como consecuencia de los derrames petroleros, son responsables de enormes daños a los ecosistemas marinos, a la fauna y en general al medioambiente. Un ejemplo emblemático lo tenemos en el desastre de la plataforma petrolera "deepwater horizon" (Horizonte profundo), el 20 de abril de 2010, y que generó un derrame de 4,9 millones barriles de petróleo, que afectó 176,100 km² del Golfo de México²⁸. En estos casos, el procedimiento ideal consiste en reducir la capa de hidrocarburo liberado al mar, evitando su expansión y llevándola a una forma que se pueda manejar con miras a su recolección. Si se coloca alrededor del derrame una capa de surfactante que tenga una tensión superficial más baja, se puede producir la contracción de la capa de hidrocarburo que, al final, permitirá que el proceso de descontaminación sea más fácil para las cuadrillas especializadas en la limpieza o recolección de este material. La otra

alternativa es producir la dispersión del hidrocarburo en finas gotas para que al final sea biodegradado. Este procedimiento se puede llevar a cabo utilizando también un surfactante que, obviamente, debe ser inocuo al medioambiente y biodegradable, a fin de que no sea peor el remedio que la enfermedad.

En ambos casos, la clave para atender la emergencia es un buen surfactante, que podría ser un biopolímero, por ejemplo un polisacárido de origen natural que, adicionalmente, cumple con los postulados de la química verde²⁹. Este tipo de materiales se obtiene mayoritariamente de plantas, y son ampliamente usados en tecnología de emulsiones para varios propósitos tales como mejorar la textura y estabilidad, retardar la sedimentación de partículas sólidas y la agregación de las partículas dispersadas³⁰. A pesar de que ellos no son propiamente agentes emulsionantes, los polisacáridos se consideran como estabilizantes, puesto que mejoran la estabilidad de sistemas que contienen agua y aceite. Sin embargo, varias investigaciones han llegado a la conclusión de que tienen propiedades emulsionantes debido a que son moléculas anfifílicas con afinidad polar/apolar. Esta característica es especialmente importante en polisacáridos complejos, en cuya estructura aparece un grupo hidrofílico formado por los azúcares y la parte lipofílica conformada por las cadenas de proteínas. En consecuencia, utilizando estas macromoléculas, la tensión interfacial se reduce y por lo tanto se comporta como un agente emulsionante³¹. Como ejemplo de este tipo de materiales tenemos algunas resinas como la goma arábiga, extraída del árbol de acacia, la guar (o goma guaran), obtenida de la *Cyamopsis tetragonoloba*, una planta leguminosa, y la goma fenugreek, extraída de la *Trigonella foenum-graecum*, también conocida como fenogreco, una planta perteneciente a la familia de las fabáceas. Las tres gomas poseen propiedades emulsionantes³².

Existen muchos otros polisacáridos que están en estudio, por ejemplo el extraído a partir del cactus *Opuntia ficus-indica*, la tuna o nopal oriundo de México. Este es un polisacárido anicónico, el cual posee una

estructura ramificada con proporciones de arabinosa, xilosa, galactosa y ácido galacturónico³³.

En mis estudios posdoctorales en la Universidad of South Florida – EE.UU., tuve la oportunidad de estudiar el mucílago del nopal, es decir, su goma, el cual tiene tres diferentes fracciones solubles en agua. La fracción-GE con propiedades gelificantes y que contiene pectinas, la fracción-NE, con propiedades no gelificantes y el mucílago combinado, el cual contiene propiedades gelificantes y no gelificantes.

Esta investigación me permitió estudiar sistemáticamente las tres fracciones del mucílago del nopal en la formulación de emulsiones aceite en agua (O/W) y su efecto sobre las propiedades de las mismas (tamaño de gota y estabilidad). Los resultados de la investigación son prometedores, pues se puede producir un agente tensoactivo económico y en grandes cantidades, el cual puede ser utilizado para el control y manejo de derrames de petróleo en el Golfo de México, el cual se afectado no solo por las consecuencias del propio desastre de la plataforma "deepwater horizon", sino que con mucha frecuencia por derrames a causa de la intensa actividad de extracción y transporte de petróleo. Esto ubica la investigación en la perspectiva de la protección de la fauna marina y el medioambiente acuático de esta región. Adicionalmente, este surfactante tiene aplicaciones en el área de alimentos, cosméticos, la purificación de aguas, solo por citar algunas de sus excelentes posibilidades.

5. De las emulsiones a los polímeros

En la actualidad se puede apreciar la gran diversidad de aplicaciones comerciales de los productos químicos y, especialmente, de los polímeros. En cualquier sala, recibidor, o habitación de un hogar común se puede observar la presencia de algún tipo de polímero, desde las cortinas de poliéster, ganchos de nylon, dispositivos eléctricos con carcasas de urea-formaldehído o fenol-formaldehído, pinturas de emulsión de copolímeros de acrílico o acetato de vinilo, sillas de polipropileno, colchones o cojines rellenos de una espuma de poliuretano,

sillones y otros muebles tapizados con nylon o un vinilo que simula piel, y un sin número de otros objetos de la vida cotidiana.

La industria de los polímeros, dentro de la industria química, tiene una importancia estratégica y es un foco de atracción, no solo por las aplicaciones propiamente, sino por el esfuerzo que se hace actualmente en el diseño de polímeros que sean biodegradables. Ahora bien, el campo de los polímeros no se puede visualizar sin la participación de las emulsiones y los surfactantes, que tienen un papel protagónico en la producción de una gran variedad de polímeros que van desde el popular PVC, pasando por el poliestireno, el metilmetacrilato, compuestos acrílicos y un largo etcétera. En este sentido, la polimerización en emulsión es uno de los procesos más importantes, en virtud de que genera una gama de polímeros con diferentes propiedades y aplicaciones. El proceso de polimerización comienza a partir de una emulsión líquido/líquido, en cuya formulación incide, el tamaño y distribución de las gotas que, a final de cuentas, es determinante para el tamaño de las partículas del polímero, y define sus propiedades fisicoquímicas y por lo tanto sus aplicaciones.

Este tipo de polimerización se lleva a cabo mediante un proceso que involucra radicales libres³⁴ y en un sistema de reacción heterogéneo, dando lugar a una dispersión de partículas sólidas del polímero (de rango nanométrico), en una fase acuosa denominada látex, un procedimiento que incluye agua, el monómero, el surfactante y el iniciador (catalizador) hidrosoluble. La polimerización se inicia con la emulsión, que depende de la formulación del sistema, de las variables flujo-mecánicas y del protocolo de emulsión³⁵. Aquí, el monómero es añadido a la fase acuosa que contiene el surfactante y, mediante agitación, se obtiene la emulsión surfactante/agua/monómero. En esta etapa, el surfactante es crucial, pues forma micelas sobre la superficie del monómero, lo cual implica la generación de las gotas que se van a dispersar en el disolvente, así mismo, el surfactante debe ser tal que el monómero

tenga muy poca solubilidad en dichas micelas³⁶. En la siguiente etapa se adiciona el iniciador o catalizador, que será el responsable de comenzar la reacción de polimerización. El polímero se va acumulando en forma de partículas que, mediante diferentes mecanismos de nucleación, van creciendo a expensas de la concentración del monómero, y la reacción termina cuando no hay más monómero disponible en disolución³⁷.

El tamaño de gota de la emulsión y el tamaño de partícula del polímero puede ser estudiado por métodos espectroscópicos y, en tal sentido es menester mencionar que en la Tesis Doctoral que pude desarrollar en la Universidad South Florida, Tampa, EE.UU., bajo la dirección del Dr. Luis García Rubio, se realizó una propuesta metodológica y un programa computacional que utiliza los datos obtenidos a partir de los estudios de espectroscopia de ultravioleta y visible, en todo el rango, para determinar tamaños de gota y partículas con excelentes resultados³⁸. Este método ha tenido un éxito importante y sus resultados se han reflejado en numerosas publicaciones. Por otro lado, este sistema se puede emplear en la caracterización de por tamaño de partícula de otras matrices desde el agua, pasando por la sangre y otras dispersiones de interés médico, biológico y farmacéutico.

Es importante señalar que en Venezuela el Laboratorio Polímeros y Coloides (POLYCOL) de la Universidad de Los Andes es pionero en el estudio y manejo de la polimerización en emulsión, si han diseñado y probado procedimientos para obtener poliestireno, polimetilmetacrilato y el copolímero de ambos, tres materiales que tienen mucho interés por sus aplicaciones en la fabricación de pinturas, tóner, o microchips, entre otros.

6. Conclusiones

Las emulsiones constituyen una de las mejores formas de manejar las sustancias químicas que tienen un particular interés en el ámbito de la industria química. Áreas como la industria de alimentos, farmacéutica y agroquímica, la petroquímica, de los polímeros y lubricantes, la industria de pinturas y pigmentos, solo por mencionar

algunas, se ven directamente beneficiadas por los avances en el campo de la investigación de los surfactantes y las emulsiones que son capaces de formar. En tal sentido, el desarrollo de nuevos surfactantes, por ejemplo, aquellos derivados de materias primas que se encuentran en plantas, como del citado mucílago del nopal, constituyen un esfuerzo importantísimo que se enmarca dentro del séptimo principio de la química verde y, por otra parte, el desarrollo de surfactante y polímeros biodegradables, constituyen nuevas metas dentro del paradigma del desarrollo sostenible. Por otro lado, quedan muchas aplicaciones de las surfactantes y de la emulsiones que pueden ser estudiadas, y métodos ya reportados que pueden ser revisados y mejorados, en tal sentido, laboratorios como el FIRP, y el Laboratorio Polímeros y Coloides (POLYCOL), vienen jugando un importante papel en el desarrollo del área, pero en la actual situación del país no podemos predecir hasta donde podremos llegar en la investigación y el desarrollo de la fascinante área de las emulsiones, los surfactantes y los polímeros.

La investigación en el campo de los polímeros, los surfactantes y las emulsiones tiene una importancia estratégica para el desarrollo de la industria y para la mejora de la calidad de vida. Especialmente en los campos de la medicina y la farmacia tiene un impacto que se comienza a visualizar con nuevos procedimientos y medicamentos, y la industria de alimentos será siempre un protagonista en las aplicaciones de estos materiales, como es el caso de la industria de productos lácteos. En este sentido, y aprovechando la experiencia académica acumulada, se tiene la intención de llevar a la práctica este conocimiento en el área de la industria de los alimentos y derivados lácteos, con un proyecto que, si las circunstancias país lo permite, llevará por nombre "Lácteos Agua Clara", basada en la producción de los Fundos "Agua Clara", "Los Ángeles" y el "Manantial", los cuales se derivan la antigua "Hacienda La Magdalena", ubicados en la parroquia Eloy Paredes del municipio Arzobispo Chacón del estado Mérida, Venezuela, lugar donde por décadas

la familia Celis ha venido trabajando en el sector de la ganadería y la agricultura.

7. Referencias

- ¹ J Wisniak. Thomas Graham. I. Contributions to thermodynamics, chemistry, and the occlusion of gases. *Educ. quím.*, 24(3), 316-325, 2013.
- ² H Klein, D Woermann. Displacements of Brownian Particles in Terms of Marian von Smoluchowski's Heuristic Model. *Jornal Chemical Education*. 2005, 82 (11), 1642-1644
- ³ M Kerker. Classics and classicists of colloid and interface science: III. The (Theodor) Svedberg. *Journal of Colloid and Interface Science*. 114, 1, 295-297 (1986)
- ⁴ JS Townsend. Jean Baptiste Perrin. 1870-1942. *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society*. 4, 12, 301-305 (1943).
- ⁵ A Einstein. *Investigations on the Theory of the Brownian Movement*. Dover Publications. (1956) [1926], 1-18.
- ⁶ JW Moore, CL Stanitski, JL Wood, JC Kotz, MD Joesten. *El mundo de la química. Conceptos y aplicaciones*. México. Addison Wesley Longman, 2000, p. 754-757.
- ⁷ T. Cosgrove (Ed.). *Colloid Science: Principles, Methods and Applications*. Chichester: Wiley, 2010.
- ⁸ P Becher (Ed.). *Encyclopedia of Emulsion Technology*. Vol. 1. New York: Marcel Dekker, 1983.
- ⁹ B Ozturk, DJ McClements. Progress in natural emulsifiers for utilization in food emulsions. *Current Opinion in Food Science*. 7, 1-6 (2016).
- ¹⁰ RR Contreras, A. Ferrer-Escalona. La divulgación de la ciencia en la formación de los futuros científicos. *Anuario Latinoamericano de Educación Química, ALDEQ XXIII, 2007-2008*, 126-131.
- ¹¹ TF. Tadros. *Emulsions: Formation, Stability, Industrial Applications*. Berlín: GmbH, 2016.
- ¹² M Chappat. Some applications of emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 91, 3, 57-77 (1994).
- ¹³ J Rodríguez. *Formulación de una emulsión submicrométrica cosmética para el tratamiento de la celulitis*. Tesis de Maestría. Universidad de Los Andes. Mérida Venezuela, 2004.
- ¹⁴ O Aubrun, C Guiramand. *Emulsión fina de aceite en agua*. Oficina Española de Patentes y Marcas. Madrid España. Fecha de presentación 24/05/2005. Fecha de publicación de la solicitud 18/01/2006. Número de publicación: 2 285 656, 2005.
- ¹⁵ Bullón, J.; Molina J.; Márquez, R.; Véjar, F.; Scorza, C.; Forgiarini, A., Nanoemulsión de aceites triglicéridos para uso parenteral mediante un método de baja energía *Revista Técnica Ingeniería Universidad del Zulia*. 30, 428-436 (2007).
- ¹⁶ RJ Farn. *Chemistry and Technology of Surfactants*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd., 2006.
- ¹⁷ M Rosen. *Surfactants and Interfacial Phenomena*. New York: Wiley, 1978.
- ¹⁸ P Sherman. General properties of emulsions and their constituents. In *Emulsion Science*; P Sherman (Ed.); Academic Press Inc.: New York, 153-163, 1968.
- ¹⁹ JL Salager. *El mundo de los surfactantes*. Mérida: Cuaderno FIRP S311-A, 1992.
- ²⁰ T Tadros. *Surfactants in Agrochemicals (Surfactants science series, 54)*. New York: Marcel Dekker, 1995.
- ²¹ GL Hasenhuettl, RW Hartel (Eds.). *Food Emulsifiers and Their Applications*. New York: Springer, 2008.
- ²² P Somasundaran. *Reagents in Mineral Technology (Surfactants science series, 27)*. New York: Marcel Dekker, 1988.
- ²³ D Myers. *Surfactant Science and Technology*. Hoboken. New Jersey: Wiley, 2006.
- ²⁴ J Falbe. *Surfactants in Consumer Products: Theory, Technology and Application*. Berlin: Springer-Verlag, 1987.

²⁵ Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2018, Estadísticas de Productos Industriales Diciembre 2017. Buenos Aires: Dirección Nacional de Estadísticas y Precios de la Producción y el Comercio.

²⁶ LL Schramm. Surfactants: Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

²⁷ LN. Britton. Surfactants and the environment. Journal of Surfactants and Detergents. 1, 1, 109-117 (1998).

²⁸ LA Eargle, A Esmail. Black Beaches and Bayous: The BP Deepwater Horizon Oil Spill Disaster. Lanham, Maryland: University Press, 2012.

²⁹ Contreras RR. Química verde. Caracas: Fondo Editorial OPSU, 2018.

³⁰ (a) A Lips, IJ Campbell, EG Pelon, Aggregation Mechanisms in Food Colloids and the Role of Biopolymers in Food Polymers, Gels and Colloids. E. Dickinson (Ed.), London: Royal Society of Chemistry., Paston Press, pp. 1-2, 1991.

(b) E Dickinson, G Stainsby. Colloids in Food. London: Applied Science, 1982.

³¹ K Holmberg, B Jhonsson, B Kronberg, B Lindman. Surfactants and Polymers in Aqueous Solution. John Wiley & Sons, Ltd. Chap. 12 Surface Active Polymers, 261-276, 2002.

³² (a) E Dickinson, DJ Elverson, BS Murray. On the film forming and emulsion-stabilizing properties of gum arabic: dilution and flocculation aspects. Food Hydrocolloids 2, 101-114, 1989.

(b) E Dickinson, B Murray, G Stainsby, DMW Anderson. Surface activity and emulsifying behaviour of some Acacia gums. Food Hydrocolloids 2, 477-490, 1988.

(c) D Reichman, N Garti. Galactomannans as emulsifiers. In Food Polymers, Gels and Colloids, E Dickinson (Ed.). Cambridge: Royal Society of Chemistry, pp 549-557, 1990.

(d) D Reichman, N Garti. Interaction of galactomannans with ethoxylated sorbitan esters surface tension and viscosity effects, In

Gums and Stabilizers for the Food Industry, Vol. 5. GO Phillips, DJ Wedlock, PA Williams (Eds). Oxford: IRL Press, pp 441-446, 1990.

(e) D Reichman, N Garti. Hydrocolloids as food emulsifiers. Food Structure, 12, 411-426, 1993.

(f) N Garti, D Reichman. Surface properties and emulsification activity of galactomannans. Food Hydrocolloids. 8, 155-173, 1994.

³³ (a) B Matsuhira, L Lill, C Saenz, C Urzua, O Zarate. Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. Carbohydrate Polymer 63, 263-267, 2006.

(b) F Goycoolea, A Cardenas. Pectins from *Opuntia* spp.: a short review. Journal of the Professional Association for Cactus Development 5, 17-29, 2003.

³⁴ HF Hernandez, Klaus Tauer. Radical Desorption Kinetics in Emulsion Polymerization. 1. Theory and Simulation. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2008, 47, 9795-9811.

³⁵ (a) JL Salager. Formulación, composición y fabricación de emulsiones para obtener las propiedades deseadas. Estado del arte. Parte A. Introducción y conceptos de formulación química". Mérida. Cuaderno FIRP S747-A, 1999.

(b) JL Salager. Formulación HLB, PIT y R de Winsor. Mérida: Cuaderno FIRP 210, 1992. JL Salager. Formulation Concepts for the Emulsion Maker. In: Pharmaceutical Emulsions; Nielloud, F; Marti-Mestres, G. (Eds); Chap. 2. New York: Marcel Dekker, 2000

(c) SE. Salager, EC. Tyrode, MT Celis, JL Salage. Influence of the Stirrer Initial Position on Emulsion Morphology. Making Use of the Local Water-to-Oil Ratio Concept for Formulation Engineering Purpose. Industrial & Engineering Chemistry Research, 40, 4808, 2001.

³⁶ RG Gilbert. Emulsion Polymerization. New York: Academic Press, 1995

³⁷ (a) AM van Herk. Chemistry and Technology of Emulsion Polymerisation. New York. Wiley, 2013.

(b) J Gbrodnyan. Emulsion particle size III. Particle size distributions determined by various growth mechanisms. Journal of Colloid Science. 15, 6, 573-577 (1960).

(c) PJ Feeney, RG Gilbert, DH Napper. Coagulative nucleation and particle size distributions in emulsion polymerization. Macromolecules. 17, 2520, 1984.

³⁸ (a) MT Celis, LH Garcia-Rubio. Systematic Spectroscopy Study for Characterization of Emulsions. Journal of Dispersion Science and Technology. 29 (1/3), 20-26, 2008

MT Celis, A Forgiarini, MI Briceño, LH Garcia-Rubio. Spectroscopy measurements for determination of polymer particle size distribution. Journal of Colloids and Surfaces. A: Physicochemical and Engineering Aspects, 331, 91-96, 2008.

(b) MT Celis, A Forgiarini, L Marquez, LH García-Rubio. Influence of formulation on characterization of emulsions from transmission spectra" Paper 0129, Proceeding at World Congress on Emulsions, Lyon, France, 12-14 October 2010.

(c) MT Celis, LH García-Rubio. Interpretación Espectral de Dispersiones Líquido-Líquido usando Espectroscopia Ultravioleta Visible (UV-Vis). Revista Ciencia e Ingeniería. 29 (1), 27-34, 2008.