

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/304175336>

# Tecnología de membranas: desarrollo histórico / Membrane technology: historical development

Article · February 2016

---

CITATIONS

4

READS

2,000

3 authors, including:



**Juan Sebastián Ramírez-Navas**  
Universidad del Valle (Colombia)

85 PUBLICATIONS 126 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Transición Vítreas en Alimentos (Glass Transition of Food) - Review [View project](#)



Natural Ingredients [View project](#)

# Tecnología de membranas: desarrollo histórico<sup>1</sup>

## Membrane technology: historical development

### Tecnologia de membranas: desenvolvimento histórico

C.A. Solís, C.A. Vélez y J.S. Ramírez

Recibido Septiembre 26 de 2015 – Aceptado Febrero 19 de 2016

**Resumen**— La Tecnología de Membrana permite separar materiales de distinto peso molecular, lo que hace que su desarrollo haya sido muy importante a través de la historia, reduciendo costos energéticos y preservando los recursos no renovables entre otros factores. Hoy en día tiene múltiples aplicaciones, como es el caso de la obtención de las proteínas del lactosuero, la desalinización del agua de mar, la limpieza de aguas residuales, la obtención de componentes volátiles a partir del café soluble, etc. Esta revisión presenta una descripción del desarrollo de las tecnologías de membranas y sus más importantes aplicaciones.

**Palabras clave**— Tecnologías de Membrana, componentes volátiles, proteínas del lactosuero.

**Abstract**— Membrane Technology allows to separate materials of different molecular weight, and that is why this technology has been very important through history, reducing energy cost and preserving natural resources. Nowadays it has a lot of applications such as obtaining whey proteins, desalination of seawater and wastewater cleanup, obtaining volatile components from soluble coffee, among others. In this review a description of Membrane Technology development and its critical applications is introduced.

**Key words**—Membrane Technologies, volatile component, whey protein.

**Resumo** – A tecnologia de Membrana permite separar materiais de distinto peso molecular, o que torna seu desenvolvimento muito importante através da historia, reduzindo custos energéticos e preservando os recursos não renováveis entre outros fatores. Hoje em dia tem múltiplas aplicações, como é o caso da obtenção das proteínas do lactosuero, a dessalinização da água do mar, a limpeza de águas residuais, a obtenção de componentes voláteis a partir do café solúvel, etc. Esta revisão apresenta uma descrição do desenvolvimento das tecnologias de membranas e suas mais importantes aplicações.

**Palavras chave:** Tecnologias de Membrana, componentes voláteis, proteínas do lacto-soro.

#### I. INTRODUCCIÓN

Al proceso mediante el cual se separan dos o más componentes de una corriente utilizando una membrana (o filtro) se denomina filtración[1]. En este proceso los fluidos se hacen circular sobre superficies semipermeables que los componentes de dichos fluidos atraviesan de manera selectiva sin experimentar alteraciones químicas ni físicas. La membrana actúa como una barrera semipermeable y la separación ocurre porque la membrana controla la cantidad de movimiento de varias moléculas

entre las fases. Las dos fases fluidas suelen ser miscibles y la barrera de la membrana impide el flujo hidrodinámico normal [2-4].

<sup>1</sup>Producto de investigación del Grupo de Investigación Ingeniería de Procesos Agroalimentarios y Biotecnológicos (GIPAB), de Escuela de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle.

C.A. Solís Carvajal, es Ingeniero de Alimentos, Escuela de Ingeniería de Alimentos, de la Universidad del Valle, Cali (Colombia).

C.A. Vélez Pasos, es Director de la Escuela de Ingeniería de Alimentos, de la Universidad del Valle, Cali (Colombia).

J.S. Ramírez es Docente en la Escuela de Ingeniería de Alimentos, de la Universidad del Valle, Cali (Colombia). email: juan.sebastian.ramirez@correounivalle.edu.co

La Tecnología de Membranas (TM) es un método de filtración de solutos disueltos en un fluido, cuyo fundamento es la separación por la diferencia de los pesos moleculares y el tamaño de partícula [5]. El desarrollo que ha tenido la TM estas últimas décadas se evidencia en los numerosos trabajos de investigación que se realizan en la materia, abarcando tanto el desarrollo de nuevos materiales para membranas, como la modelización de diversos procesos de separación por membranas y en el análisis de las variables de dichos procesos [6]. La TM ha sido el foco de atención de muchas industrias, lo que ha generado un sólido y creciente mercado. Estudios reportados por *The Freedonia Group, Inc.* (<http://www.freedoniagroup.com>), proyectan una demanda con un incremento anual en las ventas de membranas de un 8,7% para Estados Unidos, y un 8,6% a nivel mundial.

Se espera, en este siglo 21, que la TM junto a las nuevas tecnologías incremente su rendimiento y permita resolver los problemas de abastecimiento de agua, mediante la desalinización [7]. Según un informe reciente de SBI Energía (<http://www.sbireports.com>) la industria de la separación por membranas, con la desalinización de agua, alcanzará los 54,2 billones de dólares en 2020, mientras que en 2010 alcanzó \$12,5 billones de dólares y en 1988 los \$4,4 billones de dólares [8, 9].

El desarrollo de las membranas, debido a su gran capacidad para seleccionar según el peso molecular los solutos disueltos en una corriente líquida, ha optimizado diversos procesos industriales, tal como la desalinización del agua de mar, el aprovechamiento de los componentes de leche y lactosuero, el mejoramiento de las pinturas, la obtención de compuestos activos en la industria farmacéutica, entre otros. El fin de la presente revisión es presentar al lector una visión general de la tecnología de membranas abarcando su desarrollo histórico y sus aplicaciones.

## II. DESARROLLO HISTÓRICO

En la antigüedad ya se utilizaban de manera empírica los procesos de filtración para separar y mejorar la calidad de mezclas líquidas. En el poema filosófico *De natura rerum* (60 a.C.) el poeta latino Tito Lucrecio Caro cuenta como el hombre aprendió a purificar el agua filtrándola a través de la tierra o la arena [10]. Durante muchos siglos para separar las sustancias en suspensión de un líquido se utilizaron arcillas, gelatinas, resinas, pergaminos y membranas intestinales [11, 12].

Los primeros trabajos científicos con membranas fueron realizados por M. La Hire en 1688, quien evaluó la permeabilidad de vejigas de cerdo con relación al agua y al alcohol [13], encontrando que era más permeable al agua [11].

Desde 1748 hasta inicios del siglo XX, las investigaciones se centraron en estudiar las propiedades de “barrera física”; periodo conocido como “la edad de la inocencia

de la membrana”. Donde se desarrollaron teorías y leyes fenomenológicas relacionadas con los procesos de membrana [14] y como herramientas de laboratorio para desarrollar teorías físicas y químicas.

En 1752, el físico francés Jean Antoine Nollet, estableció los principios básicos de “osmosis” [13]. En 1827, el médico, biólogo y fisiólogo francés René Joachim Henri de Dutrochet Neones descubrió que al someter líquidos de diferentes densidades a través de membranas (usando material inorgánico muy fino de forma cilíndrica, dispuesto en un capilar vertical), uno de ellos tiende a ascender más que los otros, evidenciando así los fenómenos de endosmosis y exosmosis, concluyendo que hay una relación directa entre la permeabilidad preferente de un determinado fluido y la altura que éste alcanza en el medio filtrante [15-17].

En 1855, Adolf Eugen Fick expuso por primera vez las leyes que rigen el transporte de masa a través de medios de difusión [18]. En 1861, Thomas Graham demostró que existían membranas semipermeables, que permitían el paso de sustancias disueltas de bajo peso molecular, pero impedían el de las partículas coloidales, también demostró que la velocidad de difusión de un gas es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su densidad, relación conocida como ley de Graham [19].

En 1864, Moritz Traube construyó la primera membrana semipermeable artificial, él empleó su tamiz molecular para el desarrollo de la primera teoría fisicoquímica del crecimiento de células de la planta [20-22]. En 1887, van't Hoff desarrolló la ley límite y la ecuación que lleva su nombre, que explican el comportamiento de soluciones diluidas ideales [23], basándose en las mediciones realizadas por Traube y Pfeffer. Paralelamente, Maxwell [24] y otros investigadores desarrollaron gran parte de la teoría cinética de los gases, empleando el concepto de una membrana semipermeable perfectamente selectiva. Durante este periodo, las membranas no tuvieron usos industriales o comerciales.

En el siglo XX se destacan varios trabajos. Bechhold [25] desarrolló la primera membrana sintética de ultrafiltración (nitrocelulosa), y fue el primero en medir puntos de burbuja de membrana y también acuñó el término “ultrafiltro”. En 1920, Zsigmondy y Bachmann, Ferry y Elford hicieron importantes avances en membranas de ultrafiltración y microfiltración a escala piloto [26-28]. En 1950 Gerald Hassler introdujo el primer concepto de la desalinización del agua empleando membranas [29]. En 1958, Sidney Loeb y Srivasa Sourirajan comenzaron a trabajar en un proyecto conjunto sobre membranas y dos años después presentaron la primera membrana asimétrica de acetato de celulosa.

En la Tabla I se resumen los principales acontecimientos históricos ocurridos desde los trabajos de Nollet. En la Figura 1 se muestra una línea de tiempo que resume la evolución de la TM.

TABLA I  
DESARROLLO DE TEORÍAS Y LEYES RELACIONADAS CON EL PROCESO DE  
SEPARACIÓN POR MEMBRANAS

Año	Ecuación Fenomenológica	Modelo Teórico
1748	Ósmosis	Nollet
1803	Electroósmosis	Reus
1816	Electroósmosis	Porret
1855	Difusión	Fick
1861	Diálisis	Graham
1887	Presión osmótica	Van'tHoff
1889	Transporte de electrolitos	Nernst-Plank
1905	Presión osmótica	Einstein
1907	Potencial de membrana	Henderson
1911	Equilibrio de membrana	Donnan
1930	Osmosis anómala	Sollner
1936	Membranas iónicas	Meyer, Siever
1937	Membranas iónicas	Teorell
1950	Modelo de poro	Schmid
1956	Modelo de poro	Meares
1964	Irreversibilidad Termodinámica	Kedem, Katchalsky
1965	Modelo de difusión – solución	Londale

Fuente:Barbari [30], Mulder [31]

En 1970, Cadotte mejoró las membranas integrales al depositar una película delgada de polímero sobre un soporte poroso por la técnica de solución- evaporación, mejorando la permeo-selectividad de las membranas [33].

En 1990, se mejoró la membrana de microfiltración, que permitió la remoción de esporas en leches y lactosuero, se logró controlar la deposición de partículas mediante discos rotatorios, vibración, vórtices de Dean's, logrando extender la vida útil de la leche. Finalmente, se desarrollaron membranas de intercambio iónico que permitieron fraccionar hidrolizados a través de membranas de ultrafiltración/nanofiltración. En la actualidad, los investigadores fabrican

membranas compuestas de capa fina adicionando grupos funcionales químicos a la superficie de la membrana, tales como grupos carboxílicos o sulfónicos, para mejorar la retención de determinadas impurezas [34]. Los trabajos mencionados permitieron la evolución de los métodos de filtración, tal como se describe a continuación:

TABLA II  
DESARROLLO (TÉCNICO) DE LOS PROCESOS CON MEMBRANAS

Procesos con membrana	País	Año	Aplicación
Microfiltración	Alemania	1920	Uso en laboratorio (filtro de bacterias)
Ultrafiltración	Alemania	1930	Uso de laboratorio
Hemodiálisis	Holanda	1950	Riñón artificial
Electrodiálisis	USA	1955	Desalinización
Osmosis inversa	USA	1960	Desalinización de agua de mar
Separación de gases	USA	1981	Concentración de soluciones acuosas
Pervaporación	Alemania-Holanda	1982	Deshidratación de solventes orgánicos

Fuente: Mulder [31]

### III. TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS

No es fácil dar una definición completa y precisa de una membrana que cubra todos sus aspectos [11]. Sin embargo, una de las definiciones más completas y precisas fue propuesta por Lonsdale [35] “una membrana es un sistema de espesor muy pequeño comparado con su superficie que, cuando se interpone entre dos fases fluidas macroscópicas, ejerce un control selectivo de las transferencias de materia o de energía entre ellas”.

Los procesos de separación por membrana se clasifican de acuerdo al tamaño de las partículas o moléculas que son capaces de retener (ver Fig. 2), en el caso de los líquidos se tiene microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, osmosis inversa y pervaporación, electrodiálisis [36], en el caso de los gases existen diferentes tipos de separación a través de membranas de microporos de diferentes tamaños de poro y películas poliméricas [37].

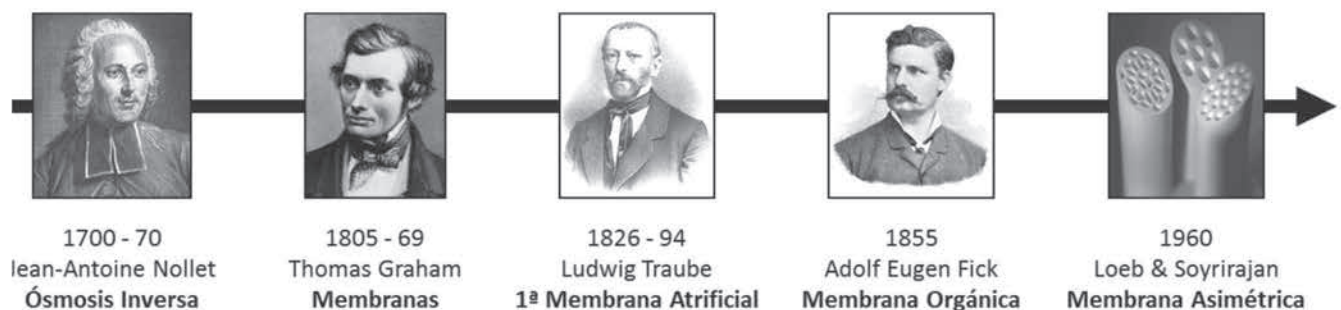


Fig 1. Evolución de las membranas Modificado deGonzales Rivas [32]

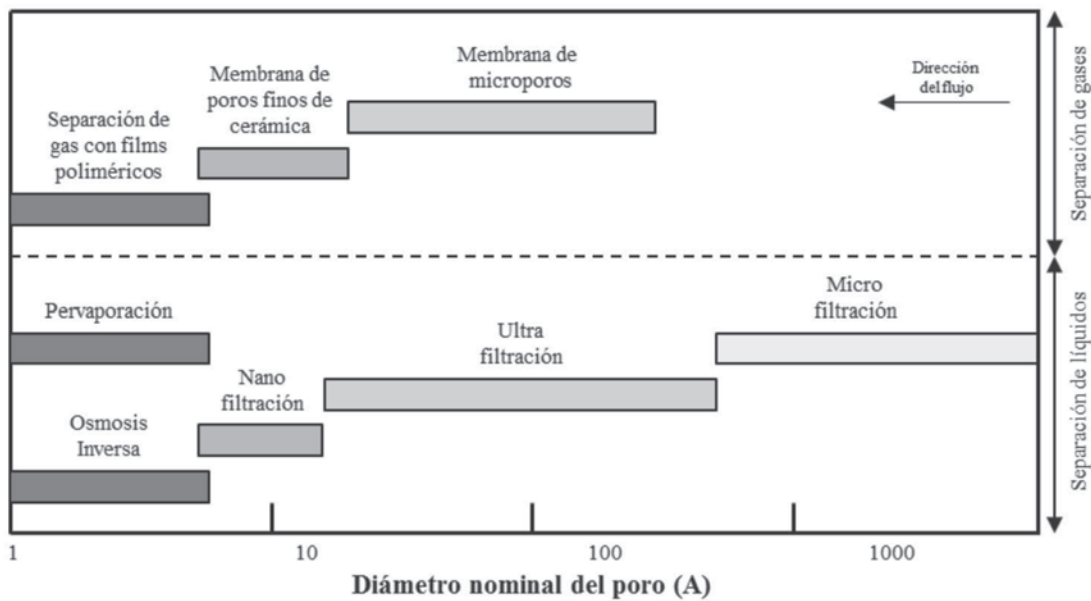


Fig. 2. Representación esquemática del tamaño de poro nominal de los procesos de separación de membrana *Modificado de Baker [37], Cui, et al. [38]*

#### A. Microfiltración (MF)

Separa partículas con un tamaño comprendido entre 0,05 y 10  $\mu\text{m}$ , a presiones comprendidas entre los 0,5 y 3 bar.

Usualmente se usa para retener sólidos en suspensión: por lo tanto, se emplea como etapa de limpieza, de concentración o como pretratamiento para la nanofiltración o a la ósmosis inversa [36].

El origen de este método se remonta al año de 1920 cuyo material de construcción fue la nitrocelulosa, y a partir de entonces muchas compañías de la época iniciaron la producción en masa de éstas. No obstante la primera aplicación más relevante se dio en Alemania durante la segunda guerra mundial, como un método rápido para monitorear el agua de consumo y hacerla libre de microorganismos. Posteriormente muchas compañías y entidades del gobierno siguieron su interés por desarrollar y aplicar este método dentro de las cuales se encuentra la Armada de USA, donde buscaron mejorar prototipos de membranas explorando numerosos materiales celulósicos como PolivinilFluorideno, Poliamidas, Poliolefinas y Poli Tetra Fluorideno, especialmente con la compañía Millipore [39-41]. En la Tabla III se presentan algunos de los avances más destacados de la MF a través de la historia.

Fuente: Baker [37]

#### B. Ultrafiltración (UF)

Es una membrana de poros muy finos cuyo rango está entre 10-1000  $\text{Å}$  y su principal función es separar macromoléculas y coloides de una corriente líquida. La primera membrana de UF fue desarrollada por Bechhold (nitrocelulosa) quien

TABLA III

DESARROLLO HISTÓRICO DE LA MEMBRANA DE MICROFILTRACIÓN

Año	Desarrollo
1918	Zsigmondy y Bachmann patentaron las membranas de colodión
1926	Nacimiento de la compañía Membran Filter GmbH
1944	Aplicación del Test de Pantalla de agua (ScreenWater) para reducir la contaminación bacteriana del agua en Alemania
1947	Goetz desarrolló membranas de microfiltración de acetato-nitrato de celulosa en la compañía CalTech
1950	Fundación de la Corporación Millipore
1963	Se usó la MF para esterilizar por primera vez la cerveza en frío
1971	Descripción de la filtración de flujo cruzado
1972	Introducción de los filtros de membranas de cartucho plisado para MF
1985	Membralox produce módulos cerámicos y tubulares de MF
1990	Instalación de las primeras plantas de tratamiento de agua municipal usando MF

fue el primero en medir sus puntos de burbuja y utilizó el término “ultrafiltro” [37, 39]. J.D. Ferry [27] realizó una recopilación muy interesante acerca de la UF, describiendo su empleo para la concentración de enzimas, análisis de bacteriófagos y virus y preparación de ultrafiltrados libres de células y proteínas a partir de soluciones biológicas, sin embargo, era un proceso restringido a escala de laboratorio debido a las dificultades que su escalamiento implicaban. Sin embargo, Sidney y Srinivasa [42] desarrollaron la tecnología y crearon un sistema de membranas a escala industrial. En la Tabla IV se presentan algunos de los avances más destacados de la UF a través de la historia.

TABLA IV  
DESARROLLO HISTÓRICO DE LA ULTRA FILTRACIÓN

Año	Desarrollo
1845	Investigación sobre la anisotropía de las membranas naturales
1907	Bechhold prepara membranas de colodión para medir puntos de burbuja y usa el término “ultrafiltro”
1926	Membrane Filter GmbH comercializa membranas de UF
1966	Amicon desarrolla membranas de UF en material de Polisulfona, PVDF a escala de laboratorio
1967	Amicon desarrolla la primera membrana de fibra hueca de UF
1969	Abcor instala una planta comercial de membranas tubulares de UF
1970	primeras aplicaciones industriales de ultrafiltración en la pintura electroforética
1973	Romicon desarrolla membranas capilares de fibras huecas en su planta
1980	Abcor comercializa módulos de UF en espiral
1988	Primera membrana cerámica de UF a nivel comercial

### C. Nanofiltración (NF)

Proceso de separación que usa membranas con un diámetro de poro inferior a  $0,001\mu\text{m}$  (1nm). Retiene lactosa y otros componentes de gran tamaño, permitiendo permear solo iones minerales monovalentes y agua [43].

El origen de la NF se remonta a 1970, como tecnología alterna a la OI, caracterizada por ser más permeables y utilizar presiones bajas. Los más grandes desarrollos de la NF se dieron entre 1900 y 2000, con la mejora de las características de las membranas y el incremento de sus aplicaciones [44, 45].

### D. Ósmosis Inversa (OI)

Se define como la concentración de soluciones por eliminación de agua; el tamaño del poro se encuentra entre 5 – 15 Å permitiendo obtener retenidos con un contenido máximo de sólidos del 30% [46]. El método consiste en el uso de membranas que son solubles en agua e impermeables para la sal, por ello se usan para desalinizar agua [39, 41, 47]. La OI tiene un costo energético elevado debido a las altas presiones usadas, no obstante sus resultados son óptimos. En la Tabla V se presentan algunos de los avances más destacados de la OI a través de la historia.

### E. Pervaporación (PV)

Es un proceso para separar mezclas gaseosas en líquidos, ya que una mezcla líquida entra en contacto con un lado de la membrana y el permeado se remueve como un vapor en el otro lado, el transporte a través de la membrana se hace por diferencia de presión de vapor. El término Pervaporación fue dado por Kober en 1917, posteriormente el proceso fue desarrollado por las industrias de petróleos principalmente, siendo sus aplicaciones más relevantes la remoción de agua

en soluciones alcohólicas concentradas y la remoción de pequeñas cantidades de componentes orgánicos volátiles (VOC) de aguas contaminadas. [37, 39, 48]. En la Tabla VI se presentan algunos de los avances más destacados de la PV a través de la historia.

TABLA V.  
DESARROLLO HISTÓRICO DE LA OSMOSIS INVERSA

Año	Desarrollo
1959	Demostración de la capacidad de desalinización de las películas de acetato de celulosa por Breton y Reid
1962	Desarrollo de las membranas asimétricas de Acetato de Celulosa por Loeb y Sourirajan
1963	Primer módulo en espiral General Atomics
1963	Loeb-Sourirajan desarrollan las membranas anisotropicas de OI
1967	Primer éxito comercial del módulo de fibra hueca por Du Pont
1972	Desarrollo del material de membrana compuesto interfacial
1975	Primer planta comercial para membranas compuestas
1978	Primer película aromática (FT-30) por Cadotte
1998	Primer planta para separar solventes refinería Beaumont Texas

TABLA VI  
DESARROLLO HISTÓRICO DE LA PERVAPORACIÓN

Año	Desarrollo
1950-1960	Binning y Lee de la industria Norteamérica de aceites publicaron el primer estudio sistemático.
1970-1980	Neel y Aptel en Toulouse realizaron estudios de Pervaporación en laboratorio
1982	GFT construye la primera planta comercial de deshidratación de etanol
1996	Primera planta comercial de Pervaporación para remover Componentes orgánicos volátiles

### F. Electrodialisis (ED)

Es un proceso de membrana en el cual la separación de iones cargados eléctricamente resulta de la aplicación de un campo eléctrico [43]. Los iones son transportados, de una solución a otra, a través de la membrana de intercambio iónico, bajo la influencia de un potencial eléctrico. Las cargas eléctricas de los iones permiten su conducción a través de las soluciones y la membrana cuando se aplica un voltaje a través de estos medios. El énfasis del diseño de una ED se dirige hacia el mantenimiento de una distribución uniforme del flujo de la solución y la minimización de la resistencia eléctrica y la fuga de corriente [49]. En la Tabla VII se presentan algunos de los avances más destacados de la ED a través de la historia.

TABLA VII  
DESARROLLO HISTÓRICO DE LA ELECTRODIÁLISIS

Año	Desarrollo
1900	Ostwald, Donnan entre otros estudiaron la primer membrana de intercambio iónico
1939	Manegold y Kalauch (1939) y Meyer y Strauss (1940) describieron la electrodiálisis
1940	Kressman, Murphy (1940) y Juda y McRae (1950) produjeron la primer membrana de intercambio iónico
1950	IONICS instala la primer planta exitosa de electrodiálisis
1970	IONICS introduce la polaridad inversa al proceso
1977	Liu y Allieddesarrollana la primer membrana bipolar
1980	DiamondShamrock/Du Pont introducen las perfluoromembranas para las plantas de cloro-álcali

### G. Separación de Gas (SG)

Aunque la industrialización de este método data de hace aproximadamente 20 años, la tecnología ha sido estudiada desde hace muchos años atrás iniciando con los trabajos de Thomas Graham quien midió la tasa de permeación de gases a través del diafragma, cuyo trabajo se conoce como el origen de la síntesis de gases [37, 39, 50]. La eficiencia de la SG depende esencialmente de dos parámetros: la pureza y la fracción del gas producto. Éstos parámetros, a su vez dependen de las propiedades intrínsecas, tales como la permeabilidad y la selectividad de la membrana, y por factores operativos tales como presiones totales y parciales de la alimentación y permeado, el caudal de alimentación y la caída de presión a ambos lados de la membrana [51]. En la Tabla 8 se presentan algunos de los avances más destacados de la SG a través de la historia

TABLA VIII  
DESARROLLO HISTÓRICO DE LA SEPARACIÓN DE GAS

Año	Desarrollo
1850	Ley de Difusión de Graham
1950	Primer medición sistemática de la permeabilidad por van Amerongen
1960-1970	Desarrollo de los módulos de fibra hueca y espiral para Osmosis Inversa
1980	Avances en los materiales de membranas N <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>
1990	Primer planta comercial de separación de vapor GKSS, NittoDenko
1994	Instalación de membranas de fibra hueca de CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>
1996	Primer planta de separación de propileno/N <sub>2</sub>

## IV. APLICACIONES INDUSTRIALES

En la actualidad se conocen diversas aplicaciones tales como, la concentración de leche para mejorar el rendimiento quesero, la elaboración de bebidas de lactosuero, la clarificación y preconcentración de jugos de frutas, la elaboración de nutracéuticos, la elaboración de alimentos funcionales, la purificación de aguas, la concentración de clara de huevo, la concentración y extracción de cenizas

de gelatina porcina, vacuna o de hueso, la clarificación de la salmuera de carne para la remoción de bacterias y re-uso de la salmuera, la concentración de proteínas de vegetales y plantas tales como soja, canola y avena, y la desalcoholización de vino y cerveza, entre otras.

La MF tiene diversas aplicaciones, algunas de ellas son: el tratamiento de aguas residuales y la esterilización de leche [52]; la separación y purificación de componentes de coproductos de industria de alimentos, por ejemplo de los caldos de fermentación de arroz [53]; la remoción e inactivación de virus [54], clarificación y recuperación de biomasa, entre otros.

En el caso de los lácteos, la MF es una forma alternativa para producir proteínas de suero de leche [43, 55]. Las proteínas séricas solubles, recuperadas en el permeado, tienen el mismo pH que la leche, a diferencia de suero de queso tradicional, que es relativamente ácido. Por lo tanto, el valor tecnológico y económico del obtenido por MF es mayor que el tradicional, ya que la solución de proteínas de lactosuero no contienen péptidos de caseína, enzimas, grasas y proteínas de suero desnaturalizadas [56].

La UF se ha empleado para el fraccionamiento de leche, suero y proteínas [57-59], la recuperación de biomoléculas a partir de salmueras [60], el tratamiento de agua para consumo humano [61]; la concentración de proteínas y anticuerpos solubles [62]. Es un proceso atractivo para la reducción de hasta un 10% de la lactosa en la leche [63]. Las grasas y las proteínas quedan en el retenido, mientras que la lactosa, algunos minerales y sales pueden pasar fácilmente a través de la membrana

La NF se ha usado en; el pretratamiento en la desalinación del agua de mar [64], la retención de iones en solución acuosa [65], la separación y concentración de componentes bioactivos para su posterior uso en la fortificación de alimentos [66], el desmineralizado, remoción de color, y desalinización, entre otros.

La OI es especialmente adecuada para procesos de deshidratación, concentración/separación de sustancias, o tratamiento de residuos líquidos [67], ejemplo de esto son: la separación y purificación de componentes de soluciones salinas [68]; el tratamiento de efluentes residuales de los procesos de irrigación agrícola [69, 70], la remoción de patógenos del agua para consumo humano [70], entre otros.

La PV tiene diversas aplicaciones, tales como: la producción de bioetanol [71], la concentración de componentes aromáticos del café [72], la remoción de fuertes componentes volátiles del agua [48]. Un gran número de compuestos aromáticos, que producen diferentes atributos sensoriales, se han identificado en derivados lácteos. Entre ellos, hay más de 30 compuestos responsables del sabor típico de algunos productos lácteos que se han extraído por pervaporación [73].

La capacidad de separar los electrolitos ofrece diversas aplicaciones a la ED en la industria alimentaria. La ED se ha utilizado en procesos como la remoción y recuperación de volátiles de ácidos grasos de mezcla de fermentaciones ácidas [74], la limpieza de aguas residuales [75], la desalinización [76]. Su mayor uso ha sido en la desmineralización de suero de leche [77-80]. El lactosuero contiene cantidades útiles de proteínas, lactosa y ácido láctico. Sin embargo, el alto contenido de minerales hace que sea inaceptable para el consumo humano o como alimento para animales. El tratamiento del suero por ED permite la remoción de los minerales y la posterior producción de suero comestible en polvo. Otro interesante uso ha sido la desalación de la leche de vaca, para utilizarla en fórmulas infantiles [81, 82].

La SG se ha empleado con éxito para separar cadmio en el tratamiento de aguas residuales [83], separar alcanos

lineales, solventes polares, isómeros estructurales, mezcla de gases [84], fraccionar aceites y gases. La SG también permite la producción de hidrógeno, la purificación de aire y la concentración del contenido de oxígeno en el aire [51].

Un interesante ejemplo de aplicación de las TM son las posibilidades de aprovechamiento de los componentes del lactosuero. Entre los derivados del suero se pueden citar: lactosuero en polvo, proteínas aisladas de suero WPI (Whey Protein Isolates), proteínas concentradas de suero WPC (Whey Protein Concentrates), suero deslactosado, suero reducido en lactosa RLW (Reduced Lactose Whey), suero desmineralizado y deslactosado, lactalbumina, suero permeado WP (Whey Permeate), lactosa en polvo, entre otros [85-87]. Un esquema de los procesos y operaciones unitarias empleadas para la obtención de estos ingredientes se muestran en la Figura 3 [88].

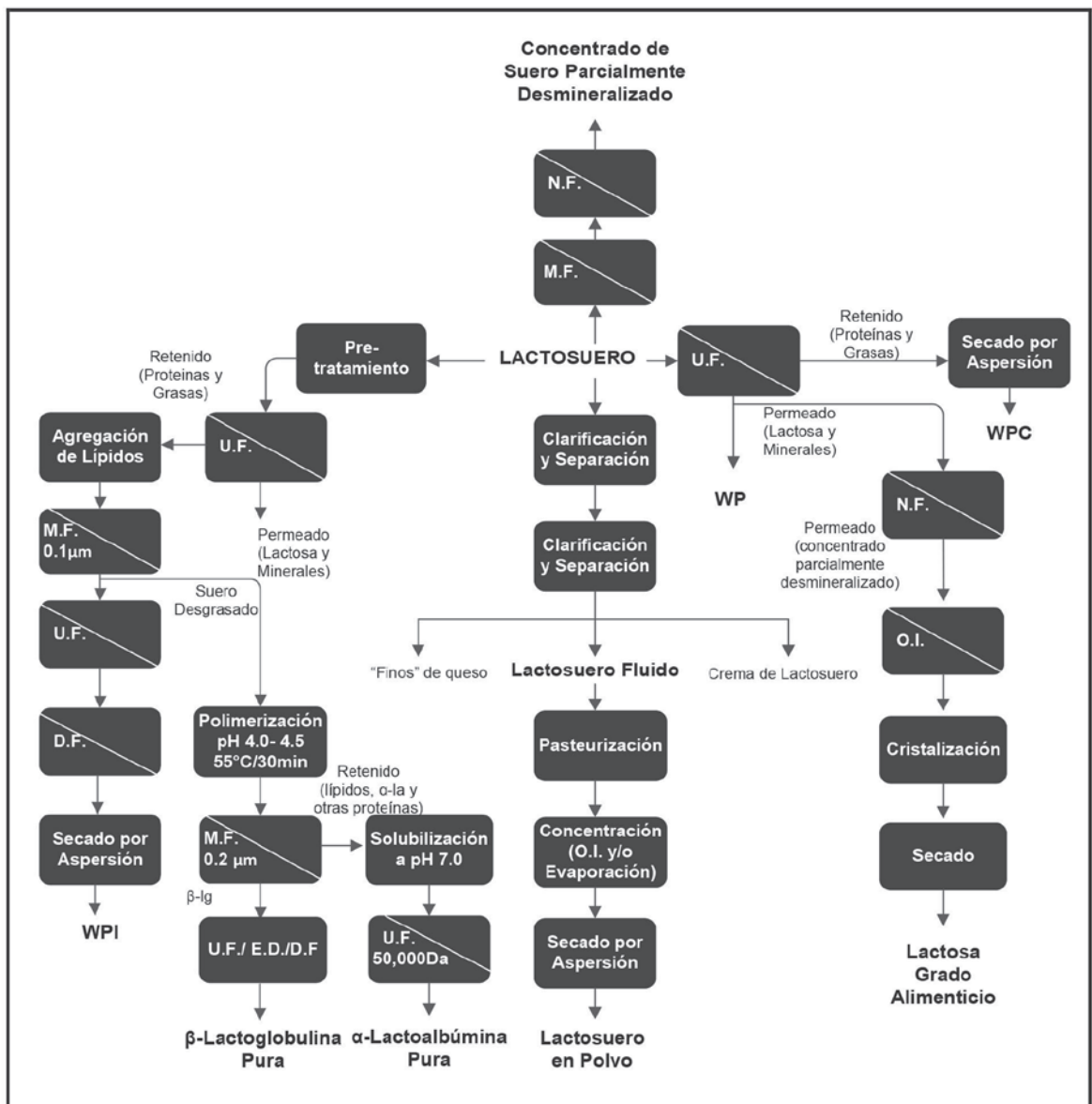


Fig 3. Procesamiento para la obtención de derivados de lactosuero en diferentes formas comerciales. Fuente: Posada, et al. [88].



## V. CONCLUSIONES

La aplicabilidad de la tecnología de membranas ha permitido su uso en muchos campos de las ciencias y la industria a saber: en la industria petrolera, la industria de pinturas, la industria láctea y en la purificación de agua, principalmente. Siendo relevante su aporte a la conservación de los recursos no renovables puesto que no requiere de altas temperaturas para su uso. Este tipo de tecnologías plantea retos para la sociedad científica actual teniendo en cuenta la necesidad de generar productos y servicios.

## REFERENCIAS

- [1] K. S. Sutherland and G. Chase, *Filters and Filtration Handbook*. Oxford, UK: Elsevier Science, 2008.
- [2] S. K. Sharma, S. J. Mulvaney, and S. S. H. Rizvi, *Food process engineering : theory and laboratory experiments*. New York, USA: Wiley-Interscience, 2000.
- [3] C. J. Geankoplis, *Transport processes and separation process principles*, 4th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall Professional Technical Reference, 2003.
- [4] H. Strathmann, "A Random Walk through Membrane Science—From Water Desalination and Artificial Kidneys to Fuel Cell Separators and Membrane Reactors," in *Advances in membrane science and technology*, T. Xu, Ed., ed New York, USA: Nova Biomedical Books, 2009, pp. 1-20.
- [5] A. M. Sastre, A. K. Pabby, and S. S. H. Rizvi, "Membrane Applications in Chemical and Pharmaceutical Industries and in Conservation of Natural Resources: Introduction," in *Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological Applications*, A. K. Pabby, S. S. H. Rizvi, and A. M. Sastre, Eds., ed Boca Raton, FL, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009, pp. 3-6.
- [6] H. Muñoz Guerrero, "Gestión medioambiental de salmueras de desalado de bacalao. Tratamiento mediante tecnología de membranas," Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València, València, España, 2010.
- [7] T. Uemura and M. Henmi, "Thin-Film Composite Membranes for Reverse Osmosis," in *Advanced membrane technology and applications*, N. N. Li, A. G. Fane, W. S. W. Ho, and T. Matsuura, Eds., ed Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2008, pp. 3-20.
- [8] N. Hilal, A. F. Ismail, and C. Wright, *Membrane fabrication*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015.
- [9] S. Periera-Nunes and K.-V. Peinemann, *Membrane technology : in the chemical industry*. Weinheim; Cambridge, UK: Wiley-VCH, 2001.
- [10] Lucrecio, *De rerum natura. De la naturaleza*. España: El Acanalado, 2012.
- [11] J. Aguilar Peris, "Fenómenos de transporte a través de membranas," *Revista portuguesa de química*, vol. 25, pp. 11-26, 1983.
- [12] J. J. Gomilla Villalonga, "Tecnología de electromembrana cerámica para la desinfección de aguas," Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, 2015.
- [13] J. A. Nollét, "Recherches sur les causes du Bouillonnement des Liquides," *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*, pp. 57-104, 1752.
- [14] A. Sotto Diaz, "Aplicación de la tecnología de membranas de nanofiltración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos," Doctorado, Departamento de Tecnología Química y Ambiental, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España, 2008.
- [15] R. J. H. Dutrochet, "Nouvelles Observations sur l'Endosmose et l'Exosmose, et sur la cause de ce double phénomène," *Annales de Chimie et de Physique*, vol. 35, pp. 393-400, 3/31/ 1827.
- [16] K. W. Böddeker, "Commentary: Tracing membrane science," *Journal of Membrane Science*, vol. 100, pp. 65-68, 3/31/ 1995.
- [17] H. S. Muralidhara, "Challenges of Membrane Technology in the XXI Century," in *Membrane Technology: A Practical Guide to Membrane Technology and Applications in Food and Bioprocessing*, Z. F. Cui and H. S. Muralidhara, Eds., ed Oxford, UK: Elsevier Science, 2010, pp. 19-32.
- [18] A. Fick, "Ueber Diffusion," *Annalen der Physik*, vol. 170, pp. 59-86, 1855.
- [19] T. Graham, "Liquid Diffusion Applied to Analysis," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 151, pp. 183-224, 1861.
- [20] M. Traube, "Experimente zur Theorie der Zellenbildung und Endosmose," *Archiv für Anatomie und Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, pp. 87-165, 1867.
- [21] M. Traube, "Über homogene Membranen und deren Einfluss auf die Endosmose," *Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften*, vol. 4, pp. 97-100, 1866.
- [22] M. Traube, "Experimente zur Theorie der Zellenbildung," *Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften*, vol. 2, pp. 609-615, 1864.
- [23] J. v. t. Hoff, "The Function of Osmotic Pressure in the Analogy between Solutions and Gases," *Proceedings of the Physical Society of London*, vol. 9, pp. 307-334, 1887.
- [24] J. C. Maxwell, "A Treatise on the Kinetic Theory of Gases," *Nature*, vol. 16, pp. 242-246, 1877.
- [25] H. Bechhold, *Kolloidstudien mit der Filtrationsmethode*. Leipzig: Engelmann, 1907.
- [26] R. Zsigmondy and W. Bachmann, "Über neue Filter," *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, vol. 103, pp. 119-128, 1918.
- [27] J. D. Ferry, "Ultrafilter Membranes and Ultrafiltration," *Chemical Reviews*, vol. 18, pp. 373-455, 1936/06/01 1936.
- [28] W. J. Elford, "Principles governing the preparation of membranes having graded porosities. The properties of "gradocol" membranes as ultrafilters," *Transactions of the Faraday Society*, vol. 33, pp. 1094-1104, 1937.
- [29] Y. Cohen and J. Glater, "A tribute to Sidney Loeb —The pioneer of reverse osmosis desalination research," *Desalination and Water Treatment*, vol. 15, pp. 222-227, 2012.
- [30] T. Barbari, "Basic principles of membrane technology : Marcel Mulder (Ed.)", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1991; hardbound, Dfl. 200, ISBN 0-7923-0978-2; paperback, Dfl. 70, ISBN 0-7923-0979-0; 400 pp," *Journal of Membrane Science*, vol. 72, pp. 304-305, 9/16/ 1992.
- [31] M. Mulder, *Basic Principles of Membrane Technology*, 2nd ed. London, UK, 1996.
- [32] M. Gonzales Rivas, "Separación y purificación del ácido lactobiónico," *Master en Biotecnología Alimentaria Master en Biotecnología Alimentaria, Biotecnología Alimentaria, Universidad de Oviedo, Oviedo, España, 2013*.
- [33] J. E. Cadotte, R. J. Petersen, R. E. Larson, and E. E. Erickson, "A new thin-film composite seawater reverse osmosis membrane," *Desalination*, vol. 32, pp. 25-31, 1// 1980.
- [34] H. Ozaki and H. Li, "Rejection of organic compounds by ultra-low pressure reverse osmosis membrane," *Water Research*, vol. 36, pp. 123-130, 1// 2002.
- [35] H. K. Lonsdale, "What is membrane? Part II," *Journal of Membrane Science*, vol. 43, pp. 1-3, // 1989.
- [36] R. Ibañez Lorente, "Estudio de la Ultrafiltración de Proteínas Modelo con Membranas Cerámicas," Tesis de Doctorado, Universidad de Granada, Granada, España, 2007.
- [37] R. W. Baker, *Membrane Technology and Applications*: John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
- [38] Z. F. Cui, Y. Jiang, and R. W. Field, "Fundamentals of Pressure-Driven Membrane Separation Processes," in *Membrane Technology: A Practical Guide to Membrane Technology and Applications in Food and Bioprocessing*, Z. F. Cui and H. S. Muralidhara, Eds., ed Oxford, UK: Elsevier Science, 2010, pp. 1-18.
- [39] R. Singh, "Chapter 1 - Introduction to membrane technology," in *Hybrid Membrane Systems for Water Purification*, R. Singh, Ed., ed Amsterdam: Elsevier Science, 2005, pp. 1-56.
- [40] L. Fernández García, S. Álvarez Blanco, and F. A. Riera Rodríguez, "Microfiltration applied to dairy streams: removal of bacteria," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 93, pp. 187-196, 2013.
- [41] A. Al Ashhab, O. Gillor, and M. Herzberg, "Biofouling of reverse-osmosis membranes under different shear rates during tertiary wastewater desalination: Microbial community composition," *Water Research*, vol. 67, pp. 86-95, 12/15/ 2014.

- [42] L. Sidney and S. Srinivasa, "Sea Water Demineralization by Means of an Osmotic Membrane," in *Saline Water Conversion?II*. vol. 38, ed: AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, 1963, pp. 117-132.
- [43] A. F. de Carvalho and J. L. Maubois, *Engineering Aspects of Milk and Dairy Products*. Boca Raton, 2010.
- [44] B. Van der Bruggen and J. Geens, "Nanofiltration," in *Advanced Membrane Technology and Applications*, ed: John Wiley & Sons, Inc., 2008, pp. 271-295.
- [45] S. Zhu, S. Zhao, Z. Wang, X. Tian, M. Shi, J. Wang, and S. Wang, "Improved performance of polyamide thin-film composite nanofiltration membrane by using polyetersulfone/polyaniline membrane as the substrate," *Journal of Membrane Science*, vol. 493, pp. 263-274, 11/1/ 2015.
- [46] A. Chacón-Villalobos, "Tecnologías de membranas en la agroindustria lácteaJF - Agronomía Mesoamericana," vol. - 243-263, 2006.
- [47] Y.-X. Sun, Y. Gao, H.-Y. Hu, F. Tang, and Z. Yang, "Characterization and biotoxicity assessment of dissolved organic matter in RO concentrate from a municipal wastewater reclamation reverse osmosis system," *Chemosphere*, vol. 117, pp. 545-551, 12// 2014.
- [48] J. Kujawa, S. Cerneaux, and W. Kujawski, "Removal of hazardous volatile organic compounds from water by vacuum pervaporation with hydrophobic ceramic membranes," *Journal of Membrane Science*, vol. 474, pp. 11-19, 1/15/ 2015.
- [49] T. A. Davis, "Electrodialysis," in *Handbook of industrial membrane technology*, M. C. Porter, Ed., ed Park Ridge, N.J, USA: Noyes Publications, 1990, pp. 482-510.
- [50] F. Ahmad, K. K. Lau, S. S. M. Lock, S. Rafiq, A. U. Khan, and M. Lee, "Hollow fiber membrane model for gas separation: Process simulation, experimental validation and module characteristics study," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*.
- [51] A. K. Fritzsche and J. E. Kurz, "The Separation of Gases by Membranes," in *Handbook of industrial membrane technology*, M. C. Porter, Ed., ed Park Ridge, N.J, USA: Noyes Publications, 1990, pp. 559-593.
- [52] M. C. Almandoz, C. L. Pagliero, N. A. Ochoa, and J. Marchese, "Composite ceramic membranes from natural aluminosilicates for microfiltration applications," *Ceramics International*, vol. 41, pp. 5621-5633, 5// 2015.
- [53] X. Li, Y. Wang, J. Pan, Z. Yang, Y. He, A. N. Mondal, and T. Xu, "The preparation and application of a low-cost multi-channel tubular inorganic-organic composite microfiltration membrane," *Separation and Purification Technology*, vol. 151, pp. 131-138, 9/4/ 2015.
- [54] B. Guo, E. V. Pasco, I. Xagorarakis, and V. V. Tarabara, "Virus removal and inactivation in a hybrid microfiltration-UV process with a photocatalytic membrane," *Separation and Purification Technology*, vol. 149, pp. 245-254, 7/27/ 2015.
- [55] L. V. Saboyainsta and J.-L. Maubois, "Current developments of microfiltration technology in the dairy industry," *Lait*, vol. 80, pp. 541-553, 2000.
- [56] K. Hu, J. M. Dickson, and S. E. Kentish, "Microfiltration for casein and serum protein separation," in *Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation*, K. Hu and J. M. Dickson, Eds., ed Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015, pp. 1-34.
- [57] E. D. Bastian, S. K. Collinge, and C. A. Ernstrom, "Ultrafiltration: Partitioning of Milk Constituents into Permeate and Retentate1," *Journal of Dairy Science*, vol. 74, pp. 2423-2434.
- [58] F. V. Kosikowski and R. Jimenez-Flores, "Removal of Penicillin G from Contaminated Milk by Ultrafiltration," *Journal of Dairy Science*, vol. 68, pp. 3224-3233.
- [59] N. Rajagopalan and M. Cheryan, "Total Protein Isolate from Milk by Ultrafiltration: Factors Affecting Product Composition," *Journal of Dairy Science*, vol. 74, pp. 2435-2439.
- [60] N. Gringer, S. V. Hosseini, T. Svendsen, I. Undeland, M. L. Christensen, and C. P. Baron, "Recovery of biomolecules from marinated herring (*Clupea harengus*) brine using ultrafiltration through ceramic membranes," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 63, pp. 423-429, 9// 2015.
- [61] W. Yu and N. J. D. Graham, "Performance of an integrated granular media - Ultrafiltration membrane process for drinking water treatment," *Journal of Membrane Science*, vol. 492, pp. 164-172, 10/15/ 2015.
- [62] R. Ghosh and R. Sadavarte, "A technique for drying and storing a protein as a soluble composite thin film on the surface of an ultrafiltration membrane," *Journal of Membrane Science*, vol. 490, pp. 256-265, 9/15/ 2015.
- [63] Shakeel-Ur-Rehman, "Reduced Lactose and Lactose-Free Dairy Products," in *Advanced dairy chemistry. Volume 3: Lactose, Water, Salts and Minor Constituents*. vol. 3, P. F. Fox and P. L. H. McSweeney, Eds., 3rd. ed New York ; London: Kluwer Academic/ Plenum, 2009, p. 794.
- [64] C. Kaya, G. Sert, N. Kabay, M. Arda, M. Yüksel, and Ö. Egemen, "Pre-treatment with nanofiltration (NF) in seawater desalination—Preliminary integrated membrane tests in Urla, Turkey," *Desalination*, vol. 369, pp. 10-17, 8/3/ 2015.
- [65] C.-V. Gherasim, K. Hancková, J. Palarčík, and P. Mikulášek, "Investigation of cobalt(II) retention from aqueous solutions by a polyamide nanofiltration membrane," *Journal of Membrane Science*, vol. 490, pp. 46-56, 9/15/ 2015.
- [66] Y. Li, B. Qi, J. Luo, R. Khan, and Y. Wan, "Separation and concentration of hydroxycinnamic acids in alkaline hydrolyzate from rice straw by nanofiltration," *Separation and Purification Technology*, vol. 149, pp. 315-321, 7/27/ 2015.
- [67] R. Garud, S. Kore, V. Kore, and G. Kulkarni, "A short review on process and applications of reverse osmosis," *Universal journal of Environmental research and technology*, vol. 1, pp. 233-238, 2011.
- [68] S. M. Ibrahim, H. Nagasawa, M. Kanezashi, and T. Tsuru, "Robust organosilica membranes for high temperature reverse osmosis (RO) application: Membrane preparation, separation characteristics of solutes and membrane regeneration," *Journal of Membrane Science*, vol. 493, pp. 515-523, 11/1/ 2015.
- [69] S. Bunani, E. Yörükoğlu, Ü. Yüksel, N. Kabay, M. Yüksel, and G. Sert, "Application of reverse osmosis for reuse of secondary treated urban wastewater in agricultural irrigation," *Desalination*, vol. 364, pp. 68-74, 5/15/ 2015.
- [70] N. Nguyen, C. Fargues, W. Guiga, and M. L. Lameloise, "Assessing nanofiltration and reverse osmosis for the detoxification of lignocellulosic hydrolysates," *Journal of Membrane Science*, vol. 487, pp. 40-50, 8/1/ 2015.
- [71] M. A. Sosa, D. A. Figueroa Paredes, J. C. Basílico, B. Van der Bruggen, and J. Espinosa, "Screening of pervaporation membranes with the aid of conceptual models: An application to bioethanol production," *Separation and Purification Technology*, vol. 146, pp. 326-341, 5/26/ 2015.
- [72] T. A. Weschenfelder, P. Lantin, M. C. Viegas, F. de Castilhos, and A. d. P. Scheer, "Concentration of aroma compounds from an industrial solution of soluble coffee by pervaporation process," *Journal of Food Engineering*, vol. 159, pp. 57-65, 8// 2015.
- [73] B. Zhang, P. Sampranpiboon, and X. Feng, "Pervaporative extraction of dairy aroma compounds," in *Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation*, K. Hu and J. M. Dickson, Eds., ed Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015, pp. 176-229.
- [74] R. J. Jones, J. Massanet-Nicolau, A. Guwy, G. C. Premier, R. M. Dinsdale, and M. Reilly, "Removal and recovery of inhibitory volatile fatty acids from mixed acid fermentations by conventional electrodialysis," *Bioresource Technology*, vol. 189, pp. 279-284, 8// 2015.
- [75] S. Caprărescu, M. C. Corobea, V. Purcar, C. I. Spataru, R. Ianchis, G. Vasilevici, and Z. Vuluga, "San copolymer membranes with ion exchangers for Cu(II) removal from synthetic wastewater by electrodialysis," *Journal of Environmental Sciences*, vol. 35, pp. 27-37, 9/1/ 2015.
- [76] C. Xue, Q. Chen, Y.-Y. Liu, Y.-L. Yang, D. Xu, L. Xue, and W.-M. Zhang, "Acid blue 9 desalting using electrodialysis," *Journal of Membrane Science*, vol. 493, pp. 28-36, 11/1/ 2015.
- [77] H. Šimová, V. Kysela, and A. Černín, "Demineralization of natural sweet whey by electrodialysis at pilot-plant scale," *Desalination and Water Treatment*, vol. 14, pp. 170-173, 2012.
- [78] L. Diblíková, L. Čurda, and K. Homolová, "Electrodialysis in whey desalting process," *Desalination and Water Treatment*, vol. 14, pp. 208-213, 2012.
- [79] G. Q. Chen, F. I. I. Eschbach, M. Weeks, S. L. Gras, and S. E. Kentish, "Removal of lactic acid from acid whey using electrodialysis," *Separation and Purification Technology*, vol. 158, pp. 230-237, 2016.

- [80] J. Ečer, J. Kinčl, and L. Čurda, "Using foil membranes for demineralization of whey by electrodialysis," *Desalination and Water Treatment*, pp. 1-5, 2014.
- [81] H. R. Mueller and M.-C. Secretin, "Infant milk formula and process for its manufacture," USA Patent Patent, 1980.
- [82] L. Bazinet, "Electrodialysis applications on dairy ingredients separation," in *Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation*, K. Hu and J. M. Dickson, Eds., ed Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015, pp. 241-266.
- [83] T. Dong, L. Yang, M. Zhu, Z. Liu, X. Sun, J. Yu, and H. Liu, "Removal of cadmium(II) from wastewater with gas-assisted magnetic separation," *Chemical Engineering Journal*, vol. 280, pp. 426-432, 11/15/2015.
- [84] K. Yusuf, A. Y. Badjah-Hadj-Ahmed, A. Aqel, and Z. A. Allothman, "Fabrication of zeolitic imidazolate framework-8-methacrylate monolith composite capillary columns for fast gas chromatographic separation of small molecules," *Journal of Chromatography A*, vol. 1406, pp. 299-306, 8/7/2015.
- [85] K. R. Marshall and W. J. Harper, "Whey protein concentrates,," *IDF Bulletin*, vol. 233, pp. 21-32, 1988.
- [86] U. Kulozik, "Structuring dairy products by means of processing and matrix design," in *Food Materials Science - Principles and Practice*, J. M. Aguilera and P. J. Lillford, Eds., ed New York: Springer, 2008, pp. 439-473.
- [87] S. Young. (2007, Whey Products in Ice Cream and Frozen Dairy Desserts. Applications Monograph, 1-12. Available: [http://www.usdec.org/files/PDFs/2008Monographs/WheyIceCreamandDairyDesserts\\_English.pdf](http://www.usdec.org/files/PDFs/2008Monographs/WheyIceCreamandDairyDesserts_English.pdf)
- [88] K. Posada, D. M. Terán, and J. S. Ramírez-Navas, "Empleo de lactosuero y sus componentes en la elaboración de postres y productos de confitería," *La Alimentación Latinoamericana*, vol. 292, pp. 66-75, 2011.

**Carlos Andrés Solís Carvajal**, es Ingeniero de Alimentos de la Universidad del Valle (Colombia).

**Carlos Antonio Vélez Pasos**, es Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Master en Ingeniería Agrícola de la Universidade Estadual De Campinas (Brasil). Doctor en Ingeniería de Alimentos de la Universidade Estadual De Campinas (Brasil). Es investigador del Grupo de Investigación Ingeniería de Procesos Agroalimentarios y Biotecnológicos (GIPAB). Actualmente es Director de la Escuela de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle (Colombia).

**Juan Sebastián Ramírez Navas** es Ingeniero Químico de la Universidad Central del Ecuador. Doctor en Ingeniería (énfasis en Ingeniería de Alimentos) de la Universidad del Valle (Colombia). Es investigador del Grupo de Investigación Ingeniería de Procesos Agroalimentarios y Biotecnológicos (GIPAB). Actualmente es Profesor Asistente (DOMT) en la Escuela de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle (Colombia)