

# Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo sostenible del departamento de Nariño

Memorias del III Simposio Virtual de Investigación Aplicada a la Ingeniería de Procesos





Editorial  
**UNIMAR**

Colección Evento

# **Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo sostenible del departamento de Nariño**

Memorias del III Simposio Virtual de Investigación Aplicada a la Ingeniería de Procesos

***Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo sostenible del departamento de Nariño,  
Memorias del III Simposio Virtual de Investigación Aplicada a la Ingeniería de Procesos***

Edgar Francisco Pantoja Agreda

Nancy Marleny Córdoba Castro

Claudia Lorena García Caicedo

Jesús David Coral Medina

José Faruk Rojas Navarro

José Manuel Sánchez

Geovany Carvajal

Daniel Pasquini

Andrés Mauricio Montenegro Jaramillo

Juan Nicolás Hernández Aguilera

Beethoven Narváez Romo

**Editor:** Luis Alberto Montenegro Mora, Editorial UNIMAR

**Fecha de publicación:** Noviembre 2016

**Páginas:** 102

**ISBN:** 978-958-8579-21-4

**Info copia:** 1 copia disponible en la Biblioteca Nacional de Colombia

**Existencias**

**Biblioteca Nacional de Colombia**

**Copia Material Localización**

**1 Libro Electrónico    Biblioteca Nacional – Libros (consecutivo)**

***Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo sostenible del departamento de Nariño,  
Memorias del III Simposio Virtual de Investigación Aplicada a la Ingeniería de Procesos***

**Autores:**

Edgar Francisco Pantoja Agreda

Nancy Marleny Córdoba Castro

Claudia Lorena García Caicedo

Jesús David Coral Medina

José Faruk Rojas Navarro

José Manuel Sánchez

Geovany Carvajal

Daniel Pasquini

Andrés Mauricio Montenegro Jaramillo

Juan Nicolás Hernández Aguilera

Beethoven Narváez Romo

**Editor:** Editorial UNIMAR, Universidad Mariana

**Fecha de publicación:** Noviembre de 2016

**Páginas:** 102

**ISBN:** 978-958-8579-21-4

**Edición:** Primera

**Pie de imprenta:** San Juan de Pasto, Universidad Mariana, noviembre 2016

**Formato:** Digital

**Colección:** Evento

**Materia:** Ingeniería de Procesos

**Materia tónica:** Investigación Aplicada

**Palabras clave:** Investigación, Ingeniería de procesos, Desarrollo sostenible, Innovación

**País/Ciudad:** Colombia / San Juan de Pasto

**Idioma:** Español

**Menciones:** Ninguna

**Visibilidad:** Página web Editorial UNIMAR, Universidad Mariana

**El libro se incluirá en el RILVI:** Sí

**Tipo de contenido:** Investigación Aplicada a la Ingeniería de Procesos

**Universidad Mariana**

Hna. **Amanda del Pilar Lucero Vallejo** f.m.i.

Rectora

**Graciela Burbano Guzmán**

Vicerrectora Académica

Hna. **Marianita Marroquín Yerovi** f.m.i.

Directora Centro de Investigaciones

**Luis Alberto Montenegro Mora**

Director Editorial UNIMAR

## **Comité Organizador**

**Jaime Darío Quijano Melo**  
Coordinador General

**Nancy Marleny Córdoba-Castro**  
Coordinador del Evento

**José Faruk Rojas Navarro**  
Coordinador de Logística

**Jorge Andrés Castro Lara**  
Coordinador de Publicidad y Diseño

## **Comité Logístico**

Javier Mauricio Villota Paz  
María Fernanda Benavides  
Laura Isabel Márquez  
Daniel Solarte Álvarez  
Ángela Tatiana Terán López  
Jorge Armando Cifuentes Guzmán  
Ángela Muñoz

## **Comité de Conectividad**

Natalia Estefanía Muñoz  
Jonathan Rosero

## **Comité de Publicidad**

Jesús Esteban Guerrero Fajardo  
Sebastián Alejandro Moreno  
María Cecilia Mera Bastidas  
Santiago Ibarra

## **Editorial UNIMAR**

**Luis Alberto Montenegro Mora**  
Director Editorial UNIMAR

**David Armando Santacruz Perafán**  
Diseño y Diagramación

## **Correspondencia:**

Editorial UNIMAR, Universidad Mariana  
San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, Calle 18 No. 34 – 104  
Tel: 7314923 Ext. 185  
E-mail: editorialuniar@umariana.edu.co

## **Depósito Legal**

**Disponible:** Universidad Mariana, Oficina de Relaciones Públicas, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, Calle 18 #34-104, Tel: 7314923 ext. 146

**Cítese como:** Pantoja, E., Córdoba, N., García, C., Coral, J., Rojas, J., Sánchez, J., Carvajal, G., Pasquini, D., Montenegro, A., Hernández, J. y Narváez, B. (2016). *Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo sostenible del departamento de Nariño, Memorias del III Simposio Virtual de Investigación Aplicada a la Ingeniería de Procesos*. San Juan de Pasto: Editorial UNIMAR.

Las opiniones contenidas en el presente libro no comprometen a la Editorial UNIMAR ni a la Universidad Mariana, puesto que son responsabilidad única y exclusiva de los autores, de igual manera, éstos, han declarado que en su totalidad es producción intelectual propia, en donde aquella información tomada de otras publicaciones o fuentes, propiedad de otros autores, está debidamente citada y referenciada, tanto en el desarrollo del documento como en las secciones respectivas a la bibliografía.

El material de este libro puede ser reproducido sin autorización para uso personal o en el aula de clase, siempre y cuando se mencione como fuente su título, autores y editorial. Para la reproducción con cualquier otro fin es necesaria la autorización de la Editorial UNIMAR de la Universidad Mariana.



# Contenido

<b>Presentación</b>	
Nancy M. Córdoba-Castro, Jaime Darío Quijano Melo	9
<b>Ingeniería de Procesos en la Universidad Mariana</b>	12
<b>Ingeniería de Procesos: Línea de Gestión</b>	
José Faruk Rojas Navarro	14
<b>Ingeniería de Procesos: Línea Procesos Biotecnológicos</b>	
Nancy Marleny Córdoba Castro	15
<b>Ingeniería de Procesos: Línea Diseño de Procesos</b>	
Nancy Marleny Córdoba Castro	16
<b>Introdução aos ciclos de refrigeração por absorção usando amônia-agua como fluidos de trabalho</b>	
Beethoven Narváz Romo	19
<b>Modificación de la superficie de fibras de celulosa para su uso como refuerzo en materiales compuestos</b>	
Daniel Pasquini	37
<b>Realidad de los asfaltos en Colombia</b>	
Edgar Francisco Pantoja Agreda	41
<b>La competitividad en el departamento de Nariño</b>	
Edwin Geovany Carvajal Vallejo	57
<b>Biorrefinerías: una alternativa verde para el futuro</b>	
Jesús David Coral Medina	71
<b>Economía circular y su papel en el diseño e innovación sustentable</b>	
Claudia Lorena García Caicedo	81
<b>Perspectivas para Agregación de Valor al Café de Nariño</b>	
Nancy Marleny Córdoba Castro	89
<b>Importancia del liderazgo en la Cadena de Suministros de Clase Mundial</b>	
Jose M. Sanchez	97



## Presentación

El III Simposio Virtual de Investigación Aplicada a la Ingeniería de Procesos, corresponde a un evento anual que se realiza desde la Facultad de Ingeniería de la Universidad Mariana, a través del Programa de Ingeniería de Procesos. En el evento se realizan ponencias sobre resultados de trabajos de investigación y estudios de caso relacionados con la Ingeniería. Los participantes se encuentran en diferentes lugares del territorio nacional o en diferentes países del mundo, los cuales se conectan a través de la Red RENATA o una red equivalente con que cuente la institución donde se halle el investigador invitado.

Las ponencias realizadas deben ser resultado de investigaciones en el campo de los procesos o estudios de caso, relacionados con procesos fisicoquímicos, biotecnológicos, alimentos, agroindustriales o áreas afines, donde se requiera de operaciones o procesos unitarios. Adicionalmente, se puede incluir trabajos realizados dentro de procesos administrativos o de gestión, obedeciendo a que el programa tiene los mismos como áreas de desempeño de los profesionales en formación.

El evento persigue generar espacios de aprendizaje y formación básica en investigación para los asistentes, pero además identificar las tendencias de investigación en las diferentes áreas de fundamentación de la Ingeniería de Procesos y sus afines. Asimismo, busca profundizar en el uso de las TIC a través del uso de escenarios virtuales para el mejoramiento de los procesos enseñanza aprendizaje, orientado hacia el mejoramiento del quehacer docente e investigativo.

Considerando la propuesta de Política Pública construida sobre lo que el país espera para su educación superior, reflejada en el acuerdo por lo superior 2034, particularmente en lo referido a los objetivos de desarrollar una educación superior universal y de calidad en todo tiempo y lugar, gracias a las tecnologías de la información, promoviendo el uso y apropiación de las tecnologías de la información y de la comunicación TIC, y que las IES las asumirán en sus procesos internos y modalidades de oferta académica, así como a la búsqueda de que la investigación responda mejor a las necesidades locales.

De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018 en su capítulo IV sobre educación “Colombia la más educada en 2025” en donde plantea en su visión que el País requiere un sistema de formación que permita a los estudiantes no solo acumular conocimientos, sino saber cómo aplicarlos, innovar, y aprender a lo largo de la vida para el desarrollo y actualización de sus competencias. Por otro lado, que el País debe promover espacios de divulgación y formación dentro del sector educativo y otros ámbitos que faciliten los procesos de transformación cultural y actitudinal necesarios para el avance del país en aspectos sociales, ambientales, institucionales, y para el establecimiento de una paz sostenible.

El evento contó con un Panel de inauguración donde se abordó el tema de “Ciencia, tecnología e innovación en el Departamento de Nariño”, donde participaron como panelistas invitados, las siguientes personas:

- Ing. Geovany Carvajal, Director oficina de Competitividad de Nariño.
- Ing. Diego Mejía, Decano Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño.
- Ing. Andrés Montenegro Jaramillo, Oficial de Programa Coffeelands Suramérica, Catholic Relief Services (CRS).
- Mg. Arley Bastidas. Jefe de la Oficina de relaciones internacionales. Alcaldía de Pasto.
- Dr. Jonathan Rodrigo Huertas Salas, Subsecretario de sistemas de información TIC. Alcaldía de Pasto.

Las Instituciones participantes fueron las siguientes:

- Universidad de Uberlandia – Brasil.
- Universidad de Sao Paulo – Brasil.
- Universidad de Paraná – Brasil.
- Instituto Tecnológico de Monterrey – México.
- Universidad de Cornell – Estados Unidos.
- Universidad de Bath – Reino Unido.
- Asoasfaltos de Colombia - Colombia.
- Catholic Relief Services - Colombia.
- Alcaldía de Pasto - Colombia.
- Oficina de Competitividad de Nariño - Colombia.
- Universidad Mariana – Colombia.

Por otra parte, con el evento se buscó la contextualización del estado de la profesión en el área de procesos de transformación, administrativo o de gestión en los ámbitos nacional e internacional, con base en la tendencia de formación de los ponentes en las instituciones donde se encuentran realizando o han terminado sus estudios. Como aporte a estos propósitos, el programa de Ingeniería de Procesos con satisfacción hace entrega de esta memoria que contiene los resúmenes de las ponencias realizadas, que han enriquecido con sus valiosos aportes objetivos específicos del evento como los siguientes:

- Identificar tendencias de investigación en las diferentes áreas de fundamentación de la Ingeniería de Procesos y áreas afines.
- Instaurar un espacio de divulgación de experiencias investigativas y estudios de caso en el campo de la Ingeniería de Procesos y afines como estrategia de aprendizaje y perfeccionamiento de la formación específica.
- Intercambiar información relevante generada en procesos de investigación y aplicación de estrategias en diferentes ámbitos del conocimiento relacionados con la Ingeniería de procesos y afines en diferentes partes del mundo.

El programa de Ingeniería de Procesos agradece de manera especial a los emprendedores que participaron con la muestra de sus productos y procesos, a los patrocinadores por su apoyo y contribución para llevarlo a cabo y, en general, a todas

las personas e instituciones que con su entusiasmo, confianza, esfuerzo y dedicación influyeron para su ejecución.

Esperamos que este documento sea significativo, satisfaga las expectativas de quienes lo consulten y sea referente para la gestión de calidad en la formación de nuestros ingenieros.

Ing. **Nancy M. Córdoba-Castro**, M.Sc.  
Docente IDEP

Ing. **Jaime Darío Quijano Melo**, M.Sc.  
Director IDEP

# Ingeniería de Procesos en la Universidad Mariana

La Ingeniería de Procesos de la Universidad Mariana, es un programa académico de la Facultad de Ingeniería que se oferta desde el periodo agosto – diciembre de 2010 y donde se forma profesionales creativos con conocimientos suficientes en ciencia y tecnología, para aplicarlas en el diseño, simulación, optimización, innovación, logística y gestión de los procesos, con base en el estudio de aquellos de naturaleza fisicoquímica y biotecnológica, sin descuidar el desarrollo sostenible y protección del medio ambiente.

En cumplimiento de la misión institucional y del programa, en donde se promueve la formación integral humana y académica, se potencia el desarrollo de nuestros profesionales de acuerdo con las necesidades y expectativas de la región y del país. Esto permite que un profesional de la Ingeniería de Procesos pueda tener desempeño adecuado en campos de transformación, gestión y administración.

En el campo de transformación, se trabaja el logro de competencias genéricas y específicas, buscando que el egresado del programa pueda aportar en el diseño, optimización, simulación e innovación de procesos físicos, químicos, biotecnológicos, procesos estos que resultan de total pertinencia para nuestra región, en el entendido que se requiere generar valor agregado a nuestros productos, que en amplio margen corresponden a actividades agropecuarias en alimentos y agroindustriales.

La necesidad de realizar transformación de los productos agropecuarios en el departamento de Nariño, el bajo nivel de generación de fuentes de empleo y el deficiente aprovechamiento de diferentes subproductos que aparecen dentro de estos procesos de manufactura, justifica la aparición de nuevas alternativas de formación en nuestra región. El fortalecimiento del campo de transformación, permite generar nuevos emprendimientos y desarrollos, pudiendo visualizar posibilidades de cambio congruentes con objetivos de desarrollo sostenible propuestos por la Organización de Naciones Unidas y en los Planes de Desarrollo local, regional y nacional.

En este orden de ideas, el programa de Ingeniería de Procesos aporta con la formación de profesionales que pueden desempeñarse de manera proactiva y bajo condiciones que permiten entender el universo como algo de lo que hacemos parte y que no podemos destruir por cuanto estamos destruyéndonos a sí mismos.

El Ingeniero de Procesos, requiere contar con competencias que le permitan además de tener una sólida estructura conceptual, aplicarlas en la búsqueda de soluciones a problemas de la vida cotidiana a lo cual se presenta la opción de generar modelos obtenidos a través de simulaciones, en donde se aplica tecnología desarrollada para obtener soluciones mediante una visión sistémica y sinérgica.

En el campo de la gestión y administración, entendidas estas según Fajardo (2005), como el conjunto de conocimientos modernos y sistematizados en relación con los

procesos de diagnóstico, diseño, planeación, ejecución y control de las acciones teleológicas de las organizaciones en interacción con un contexto social orientado por la racionalidad ética y técnica, el Ingeniero de Procesos adquiere en sus estudios de formación de pregrado, habilidades en la gestión por procesos y proceso administrativo, elementos indispensables en el manejo de los emprendimientos que se pretenden sean desarrollados por nuestros profesionales.

Adicionalmente, se desarrolla en los profesionales de Ingeniería de Procesos, competencia en el campo logístico, permitiendo que ellos puedan poner en marcha un conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo los objetivos de la organización, especialmente de distribución en bienes o servicios de una empresa. Esto permite un desempeño holístico de nuestros profesionales, pues no actúan en torno a las partes de los procesos sino al todo de los mismos.

Un tratamiento integral de los procesos a desarrollarse al interior de las empresas u organizaciones productivas, les permite a nuestros profesionales un desempeño adecuado, pues inicialmente el emprendimiento de pequeñas empresas que pueden resultar como producto de un esfuerzo unipersonal, exige que el emprendedor pueda realizar el mayor número de tareas al interior de las mismas, sin que ello represente que con el tiempo y la consolidación no se requiera de la conformación de equipos interdisciplinarios. Esta visión resulta pertinente para nuestra región y en general para todo el país, pues cerca al 94% de las empresas existentes, se encuentran clasificadas como micro, pequeñas o medianas empresas.

Como una estrategia en la generación de diferentes espacios de aprendizaje, el programa, ha implementado el *Simposio Virtual de Investigación Aplicada a la Ingeniería de Procesos*, el cual se desarrolla anualmente y para esta ocasión se desarrolla en su tercera versión, contando siempre con la participación de profesionales de diferentes instituciones de educación en el ámbito nacional e internacional que han compartido sus experiencias en el campo investigativo o de aplicación exitosa en diferentes campos de Ingeniería y principalmente relacionadas con transformación, gestión y administración.

## Ingeniería de Procesos: Línea de Gestión

La Ingeniería de Procesos de la Universidad Mariana, nace como respuesta a una creciente necesidad en la región, de contar con profesionales con formación técnica en transformación y gestión de bienes, productos y servicios, con sensibilidad social, respetuoso de los derechos humanos, consciente del desarrollo sostenible como eje de transformación, y creativo para enfrentar de manera efectiva los retos que en materia de productividad y competitividad presenta el departamento de Nariño.

La dinámica de los mercados ha cambiado significativamente en las últimas décadas en todo nivel, en este sentido, una de las características distintivas del ingeniero de procesos radica en su capacidad de desempeño en el área de gestión, la cual es indispensable para el ejercicio profesional al interior de las compañías desde distintos aspectos; la misma contempla dominio en los ámbitos de la logística industrial, los sistemas de gestión de producción, los sistemas de gestión ambiental, la producción más limpia, los sistemas de gestión de calidad, el desarrollo nuevos productos y de nuevos negocios.

Las competencias que el profesional desarrolla a lo largo de esta área de desempeño, le confieren habilidades transversales para generar respuestas ante las crecientes necesidades de las empresas y el entorno, así como para identificar oportunidades de acción, lo cual puede constituirse en factores claves de éxito; debido a que el ingeniero de procesos, comprende claramente la perspectiva global de la empresa, lo que le permite participar de forma activa en el equipo de trabajo para la solución de problemas específicos, identificando los requerimientos de profesionales especialistas en otros campos.

**M Sc. José Faruk Rojas Navarro**  
Docente Programa Ingeniería de Procesos  
Universidad Mariana

# Ingeniería de Procesos: Línea Procesos Biotecnológicos

La aparición de las nuevas tecnologías ha constituido un salto cualitativo que probablemente configure en gran medida los sistemas de producción farmacéutica y agropecuaria, y la cadena de transformación de alimentos y procesos medioambientales. Aunque la evolución del área creará nuevas oportunidades de crecimiento y expansión industrial, con empresas intensivas en tecnología, también amenazarán a otras de carácter tradicional incapaces de adaptarse a las nuevas condiciones. Dado lo anterior, el programa de Ingeniería de Procesos ha priorizado dentro de sus líneas de investigación los temas relacionados con las ciencias de la vida y sus áreas interdisciplinarias como la biotecnología.

El conocimiento de la organización estructural y funcional de los seres vivos permite abordar nuevos retos y aportar soluciones novedosas en relación con el análisis, diagnóstico y resolución de problemas, encaminadas a mejorar la calidad de vida y el control y uso sostenible de los recursos. Debido a su carácter horizontal y multidisciplinar, esta área tiene interacciones y ofrece múltiples aplicaciones en ámbitos muy variados, con necesidades tecnológicas particulares. Esta área de conocimiento se caracteriza por ser emergente y con gran potencial de desarrollo para generar solución a diferentes problemáticas del contexto. Una gran mayoría de aplicaciones biotecnológicas derivan directa o indirectamente del uso de los microorganismos y/o de sus propiedades fisiológicas para obtener productos de interés comercial. Los microorganismos juegan un papel esencial en la elaboración de alimentos y bebidas, en procesos de control de calidad de diferentes actividades del sector terciario, destacando las actividades del sector de servicios y la gestión del medio ambiente. Además, son también destacables, entre otros, las actividades, productos y servicios biotecnológicos en el sector sanitario y en el sector agropecuario.

**M Sc. Nancy Marleny Córdoba Castro**  
Docente Programa Ingeniería de Procesos  
Universidad Mariana

# Ingeniería de Procesos: Línea Diseño de Procesos

Los Procesos, comprenden los conocimientos y técnicas necesarias no sólo para la transformación física de los materiales para obtener nuevos productos sino también para su separación y preservación. Es de fundamental importancia que el estudio de temas como la destilación, la filtración, la cristalización, la evaporación, las extracciones líquido-líquido y sólido-líquido, el manejo de sólidos, la esterilización, la refrigeración entre otros, se haga independientemente de la naturaleza de los materiales empleados, con el fin de generalizar las condiciones de operación cuando se diseñan los equipos necesarios en los diversos procesos.

A partir de la identificación de las necesidades de los consumidores, de los experimentos en el laboratorio y de la simulación, surgen muchas de las ideas para nuevos productos. El Ingeniero de Procesos es capaz de seleccionar la ruta química e integrar los datos de la cinética y del equilibrio químico para que, en el escalamiento del proceso productivo y en el diseño del proceso, se obtenga una mayor eficiencia a un menor costo, porque ha optimizado el uso de las materias primas, las dimensiones de los equipos, así como el consumo de energía. Surgen entonces, procesos que aprovechan la energía y la materia que sobra en otros, y se crean grupos de procesos o de negocios, o “clusters”, en los cuales unos utilizan los subproductos que resultan en los otros.

El estudio y aplicación de los Procesos Unitarios en la transformación de materias primas de naturaleza química y biológica en nuevos productos, incluyendo su automatización y control para asegurar que la optimización de los procesos los haga más productivos y eficientes, hace competentes a los Ingenieros de Procesos para operar plantas químicas y biotecnológicas. Así puede responder al problema del manejo de la materia viva, para transformarla, por medio de estos procesos, en productos con valor agregado. Esta formación académica le permite extrapolar las aplicaciones de estos procesos unitarios a campos tan diversos como los alimentos, fisicoquímicos, agroindustriales, ambientales, y energéticos, entre otros.

Documento Registro Calificado 2015  
Ing. **Nancy Marleny Córdoba Castro**, M.Sc.  
Programa Ingeniería de Procesos  
Universidad Mariana





# Introdução aos ciclos de refrigeração por absorção usando amônia-água como fluidos de trabalho

**Beethoven Narváez Romo**

Eng. Mecânico. Universidade Nacional de Colombia - Sede Medellín 2005-2010

MsC. em Eng. Mecânica 2012-2014

MBA em Energias Renováveis, geração distribuída e eficiência energética

Candidato a Doutor em Eng. Mecânica

Universidade de São Paulo, Brasil

## Resumen

Os ciclos de refrigeração por absorção vêm sendo foco de estudo nos últimos anos devido às diferentes vantagens em referência aos sistemas de refrigeração por compressão, entre essas, esses ciclos também podem ser operados com energias renováveis como o caso da energia solar térmica ou em arranjos de cogeração. O sistema de absorção é um ciclo que utiliza uma combinação de fluidos de trabalho, sendo os mais utilizados amônia-água e brometo de lítio-água em virtude da sua boa afinidade química entre os pares, estabilidade e baixo ponto de evaporação (no caso da amônia). A eleição de cada uma das misturas está associada ao tipo de aplicação e as condições operacionais do sistema de refrigeração, brometo de lítio-água para condicionamento de ar, e amônia-água para sistemas de refrigeração.

O presente artigo visa introduzir o conceito básico de operação dos ciclos de refrigeração por absorção, mostrando que esses sistemas têm promissórias aplicações no setor industrial. Usa-se também equações básicas de conservação de massa e energia para mostrar algumas faixas de operação do sistema, mostrando como esses sistemas poderiam ser analisados na hora de fazer uma modelagem bem rigorosa. Finalmente, e resolvido o sistemas de equações e encontrado as propriedades termodinâmicas para cada um dos estados nos diferentes processos.

**Palabras clave:** Ciclo de Absorção, amônia-água, EES.

## 1. Introducción

Os ciclos de refrigeração por absorção não é um invento dos últimos anos, os primeiros equipamentos começaram com os estudos dos irmãos Carré, Edmón e Ferdinand. Edmon usou um sistema mecânico a vácuo, substituindo o ácido sulfúrico por éter sulfúrico, já que grandes quantidades de sal são necessárias para uma pequena parte de vapor de água. No entanto, o éter é altamente inflamável. Em 1856, Ferdinand substituiu os fluidos de trabalho por amônia-água, operando em pressões positivas (Elvas *et al.*, 2010). Essa mistura é caracterizada por ter boa afinidade química, e, além disso, a amônia tem baixo ponto de evaporação, e baixo ponto de solidificação, favorecendo o uso em diferentes aplicações, incluso em aplicações de sistemas de refrigeração abaixo de 0°C. O primeiro sistema que o Ferdinand propôs é apresentado na Fig. 1 a (esquerda), onde é configurado para produção por bateladas. O equipamento A é equivalente ao gerador de vapor, e o equivalente E é o análogo ao condensador. Na primeira fase do processo é fornecido calor a o equipamento A para separar a amônia da mistura, para após ser condensada no tanque E. Na segunda parte do processo, o equipamento A passa a ser resfriado, atuando como absorvedor, e tanque E passa a atuar análogo ao evaporador. Como pode notar-se, a produção de gelo no tanque E é produzida por bateladas.

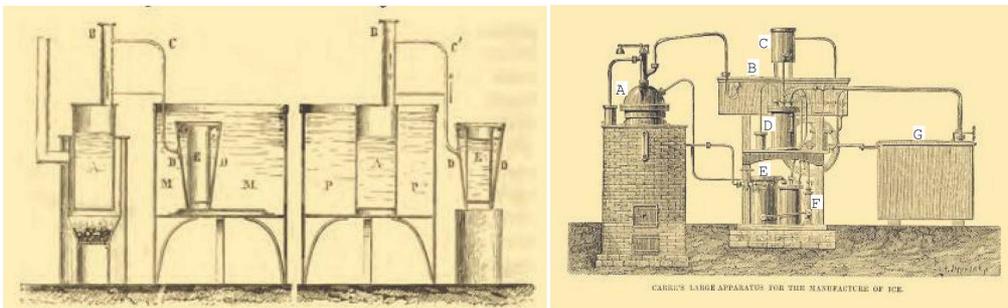


Figura. 1. Sistema de refrigeração por absorção de Ferdinand Carré; a) produção por bateladas (Jamin, 1878)<sup>1</sup>, b) produção industrial -200kg/h (Tissandier, 1878)<sup>1</sup>.

## 2. Ciclo de refrigeração por absorção

Existem diferentes tipos de fluidos de trabalho para os ciclos de refrigeração por absorção, porém os dois mais usados são; par amônia-água, e o par brometo de lítio-água. No primeiro, a amônia opera como fluido refrigerante e água como fluido absorvente. No segundo, a água passa a ser o fluido refrigerante e o brometo de lítio o absorvente. As aplicações de cada um estão limitadas pelas propriedades termofísicas dos fluidos, já que, por exemplo, os sistemas de com brometo de lítio-água são usados em aplicações de condicionamento de ar, porque a água tem a restrição do ponto triplo e não pode ser usado abaixo de esse ponto. Essa restrição não aplica para amônia, assim, esses sistemas são usados em sistemas de refrigeração abaixo de zero (embora também possam ser usados em aplicações de condicionamento de ar). Neste trabalho será estudado o ciclo de refrigeração

<sup>1</sup> Tomado de Elvas *et al.*, 2010. Making science cooler: Carré's apparatus.

por absorção usando amônia-água, porém os conceitos de operação podem ser extrapolados ao ciclo que opera com brometo de lítio-água (opera em vácuo).

2.1. *Princípio de operação:* o ciclo de refrigeração opera da seguinte maneira; a solução líquida de amônia-água chamada de solução forte é bombeada desde o absorvedor até o gerador. No gerador, a solução entra em contato com uma superfície quente (temperatura da parede acima da temperatura de saturação), onde acontece a separação da amônia da solução de amônia-água. Isto é possível de fazer devido a que a mistura amônia-água é uma solução não azeotrópica (não tem comportamento de uma substância pura em nenhum ponto de operação). Esse vapor de amônia também está com teor de vapor de água, assim, é encaminhado ao retificador para fazer uma condensação parcial e produzir vapor de amônia de alta pureza. Esse vapor é levado até o condensador para rejeitar o calor no estágio de alta pressão (15 bar), e expandido na válvula de expansão até o estágio de baixa pressão (2,5 bar), atingindo uma condição bifásica do fluido na saída da válvula de expansão EV1. Cabe ressaltar que a queda da pressão também implica a queda da temperatura devido ao efeito de Joule-Thomson. O fluido refrigerante expandido é recebido no evaporador, encarregado de absorver calor do meio e produzindo a mudança de fase do fluido. Isto é conhecido como o efeito refrigeração. Finalmente, o refrigerante em fase vapor entra ao absorvedor, onde se dá a rejeição de calor no estágio de baixa pressão e a mistura com a solução fraca, e assim ser bombeado novamente, fechando o ciclo. Cabe anotar, que a segunda válvula de expansão EV2, é instalada para garantir os dois estágios de pressão no ciclo. O trocador de calor existente nas linhas de entrada e saída do gerador é melhorar o aproveitamento energético, já que os sentidos dos fluxos de energia são opostos. O processo é esquematizado a través da Fig. 2.

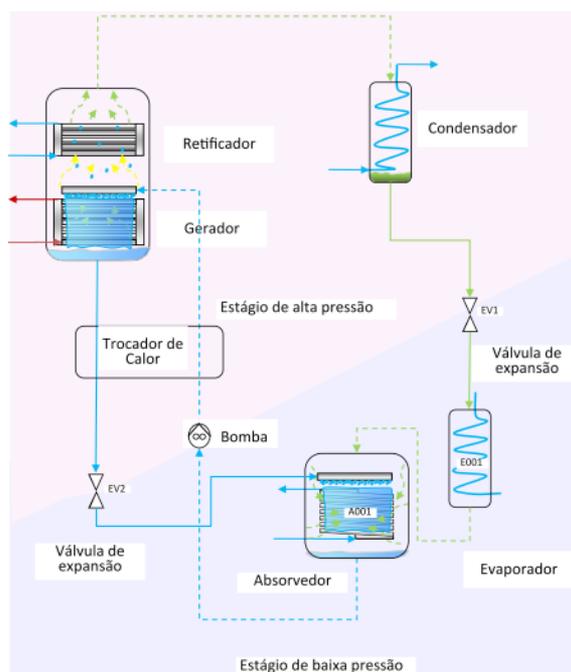


Figura 2. Ciclo simples de refrigeração por absorção usando amônia-água.

2.2. *Diagrama temperatura – fração mássica amônia-agua:* a Fig. 3 apresenta o diagrama binário de temperatura e fração mássica para a mistura amônia-água em dois níveis de pressão. Nesse gráfico se pode ver a variação da temperatura com a variação da pressão e a fração mássica. As curvas de bolha e orvalho representam os valores limites no qual acontece a primeira aparição de bolha e gotas, respectivamente.

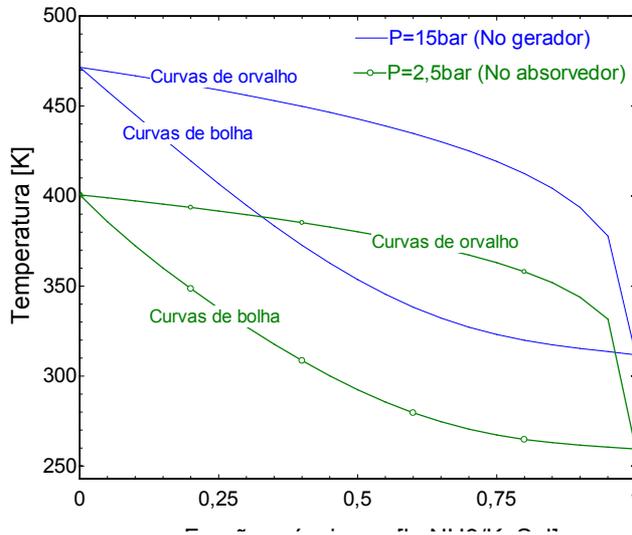


Figura 3. Diagrama binário para amônia-agua para dois estágios de pressão.

Abaixo da curva de bolha a solução está em estado líquido, e acima da curva de orvalho a solução encontra-se como vapor superaquecido. Os valores entre essas curvas encontram-se em estado bifásico, vapor mais líquido. Pode-se ver que um aumento da pressão desloca a curva para cima. Essas duas pressões correspondem a dois níveis de pressão típicos no qual opera um ciclo de refrigeração por absorção usando amônia-água. Os processos do ciclo de refrigeração por absorção podem ser representados mediante esses diagramas, sendo ilustrados de melhor maneira. A continuação apresenta-se a Fig. 4 visando familiarizar o diagrama em um processo de evaporação total a pressão constante.

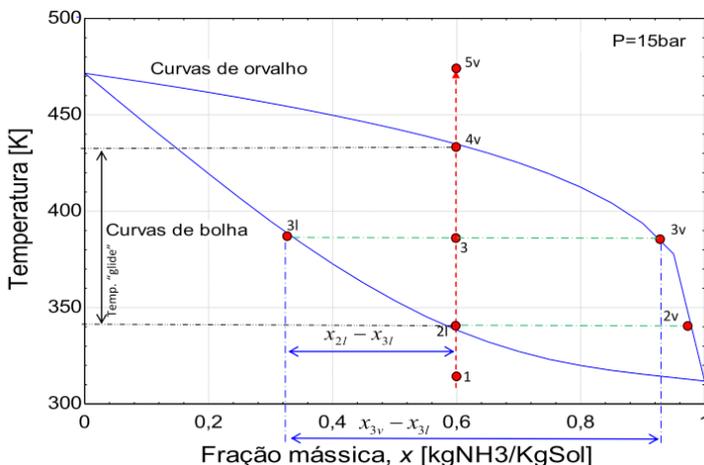


Figura 4. Diagrama binário para amônia-água para dois estágios de pressão.

O ponto 1, apresenta a solução de amônia-água em estado líquido subresfriado com concentração  $x_1$ . Se a mistura fosse aquecida, essa atingiria o ponto 2l, curva de bolha “boiling line”, no qual a primeira formação de vapor é formada. A fração mássica do líquido corresponde ao valor de  $x_{2l}$ , e fração mássica do vapor corresponde ao valor de  $x_{2v}$ , devendo-se a que a pressão de vapor da amônia é maior a pressão de vapor da água para a mesma temperatura (Herold, et al., 1996). Continuando com o aquecimento, atinge-se o ponto 3, onde a fração mássica de vapor ( $x_{3v}$ ) se encontra em equilíbrio com a fração mássica líquida ( $x_{3l}$ ), onde essas frações podem ser calculadas através do uso da alavanca “lever rule”, assim,

$$x = \frac{x_{2l} - x_{3l}}{x_{3v} - x_{3l}} \quad \text{Eq. 1}$$

Pode-se ver na Fig. 4. o ponto  $x_{3v}$  tem menor concentração de amônia que o ponto  $x_{2v}$ , consequência de que maiores temperaturas implica maiores taxas de evaporação de água, afetando a concentração final do vapor. Agora, se o processo de aquecimento continua atinge-se ao ponto 4v, curva de orvalho (“dew line”), entendido processo de evaporação completa. Finalmente, um aquecimento adicional leva ao ponto 5v, o qual representa o estado de vapor superaquecido. Outro processo interessante de estudar é o processo de absorção, onde a mistura líquida de baixa concentração absorve o vapor de alta pureza, proveniente do evaporador. Para entender melhor essa absorção, define-se o calor de mistura.

2.3. Calor de mistura<sup>2</sup>: assumamos que dois componentes puros ingressam em uma câmara adiabática de mistura (entalpia constante) com propriedades conhecidas.

<sup>2</sup> Tomado do “Absorption Chillers and Heat Pump- Herold”.

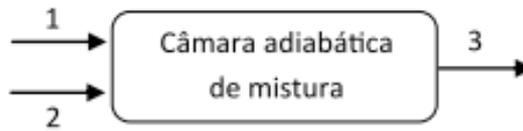


Figura 5. Câmara adiabática de mistura (CAM).

Usando as equações de conservação da massa e energia, chega-se a seguinte expressão:

$$h_1x_1 + h_2x_2 = h_3 \quad \text{Eq. 2}$$

No diagrama  $h - x$ , é indicado o comportamento da entalpia em função da fração mássica e de diferentes valores de pressão de operação. No caso de não existir o calor da mistura (solução ideal), a curva conectaria os estados puros corresponde a uma curva reta corresponderia com a curva isoterma. No entanto, na maioria de fluidos dá-se um calor de mistura. Assim, para a câmara adiabática, a temperatura da mistura pode diminuir ou aumentar dependendo do tipo de reação (exotérmica ou endotérmica). Assim, a isoterma já não é mais uma reta, senão que pode ascender ou descer como é no caso da amônia com água (Fig. 6). Defina-se  $f$ , como a razão entre a vazão mássica que entra (componente diluído) e a vazão massa total,, pelo que a equação da energia pode se reescrever como;

$$h_1f + h_2(1 - f) = h_3 \quad \text{Eq. 3}$$

O vapor saturado definido pelas propriedades do estado 2 entra na câmara junto como líquido saturado definido pelo ponto 1. Devido ao calor de mistura, a saída representado pelo ponto 3 passou de uma temperatura  $T_1$  a  $T_2$ .

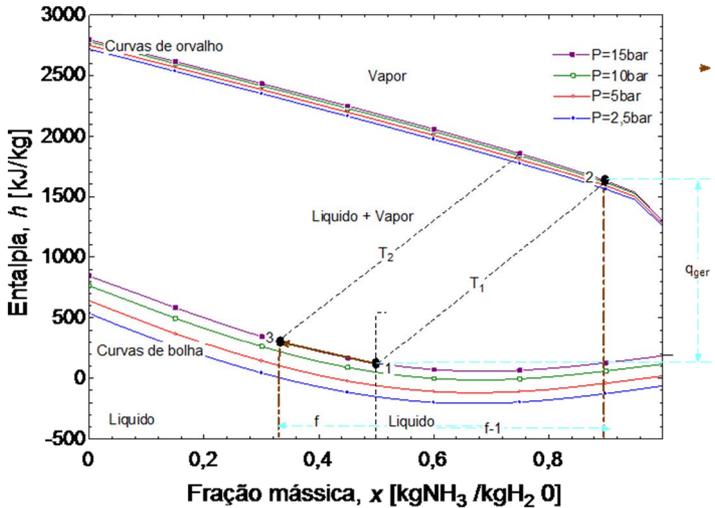


Figura 6. Variação da entalpia como função tanto da fração mássica quanto a pressão de operação.

Exemplo 1<sup>3</sup>: vapor de amônia e amônia-água líquida são misturados num processo adiabático de mistura e isobárico (15 bar). A solução líquida de amônia-água e o vapor de amônia ingressam na mesma temperatura. Encontra a temperatura de saída. As propriedades e valores de operação em cada estado são mostrados na seguinte tabela,

Tabela 1. Referência de estados de entrada e saída na CAM

Vapor de NH <sub>3</sub>	T <sub>1</sub> =323,15K	x <sub>1</sub> =1	m <sub>1</sub> =0,01kg/s	h <sub>1</sub> =1527kJ/kg
Sol. Fraca de NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O	T <sub>2</sub> =323,15K	x <sub>2</sub> =0,5	m <sub>2</sub> =0,03kg/s	h <sub>2</sub> =1409kJ/kg
Sol. Forte de NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O	T <sub>3</sub> =324,6K	x <sub>3</sub> =0,625	m <sub>3</sub> =0,04kg/s	h <sub>3</sub> =1438,5kJ/kg

Pela ECM (equação de conservação de massa),

$$m_1 + m_2 = m_3 \rightarrow m_3 = 0,04 \text{ kg/s}$$

Pela ECM para um componente (NH<sub>3</sub>),

$$m_1 x_1 + m_2 x_2 = m_3 x_3 \rightarrow x_3 = 0,625 \text{ kgNH}_3/\text{kgSol}$$

Pela ECE (equação de conservação de energia),

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = h_3 m_3 \rightarrow h_3 = 1438,5 \text{ kJ/kg}$$

<sup>3</sup> Adaptado do “Absorption Chillers and Heat Pump- Herold”.

Portanto, conhece-se a três propriedades na saída, desse modo, encontra-se a temperatura de saída, sendo de 324,6K. Como se pode observar a temperatura na saída é maior à entrada, vindo da natureza da reação, uma reação exotérmica. Agora, assumamos que o processo de mistura acontece a temperatura constante (isotérmico), a Eq. 3 pode-se reescrever como,

$$h_1f + h_2(1 - f) - h_3 = q \quad \text{Eq. 4}$$

Se a Eq. 3 for derivada em relação ao tempo, e isolado o , chega-se a uma expressão para computar o calor específico de mistura, em função das condições de entrada, dado por,

$$c_{p3} = c_{p1}f + c_{p2}(1 - f) - \frac{dq}{dT_{P,x}} \quad \text{Eq. 5}$$

2.4. *Processos no ciclo de refrigeração por absorção*; serão apresentados os processos que compõem o ciclo de refrigeração por absorção. Além disso, serão utilizadas as equações de conservação de massa, espécies e energia para cada componente, visando quantificar os fluxos de calor, temperatura e concentrações para atingir condições específicas de operação como são a temperatura de evaporação, carga térmica, temperatura de saída do absorvedor e a temperatura de geração de vapor. Os processos são:

- *Destilação ou dessorção*: é o encarregado de separar um componente da solução de dois ou mais componentes, (gerador na Fig. 2). No caso da mistura amônia-água usa-se a adição de calor ( $Q_{ger}$ ) para separar a amônia da solução de amônia-água. A Fig. 7 é representado o processo de dessorção, a linha 1 apresenta a solução forte que vem da bomba após de passar por um trocado de calor, a linha 2 corresponde ao vapor antes da retificação, a linha 4 corresponde ao líquido condensado no processo de retificação, e a linha 3 representa a solução fraca ou solução após da separação do vapor de amônia.

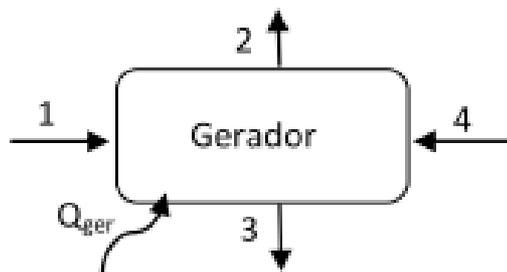


Figura 7. Diagrama representativo do processo de dessorção.

$$m_3 + m_2 = m_1 + m_4 \quad \text{Eq. 6}$$

$$Q_{ger} = m_2 h_2 + m_3 h_3 - m_1 h_1 \quad \text{Eq. 7}$$

$$m_1 x_1 + m_4 x_4 = m_2 x_2 + m_3 x_3 \quad \text{Eq. 8}$$

- Retificação ou purificação da amônia:** quando se dá o processo de evaporação da amônia, uma parte de vapor de água também evapora junto a esse vapor, afetando a qualidade do vapor de amônia, por isso, vê-se a necessidade de purificar, já que um alto teor de água no vapor pode estragar o evaporador e diminuir a eficiência do ciclo, pelo que tem menos fluido refrigerante a evaporar, e a água no evaporador pode formar gelo, atuando como isolante térmico. Há duas maneiras de purificar o vapor de amônia, a primeira é através de uma condensação parcial (“*reflux cooling*”), e a segunda é a través de uma coluna de purificação em contracorrente (“*rectification*”) (Herold, et al., 1996). A continuação será feita uma análises usando a condensação parcial. A linha 2 vem do gerador (vapor com alto teor de umidade), a linha 5 é vapor retificado ou vapor de alta pureza, a linha 4 corresponde ao liquido saturado devido à condensação parcial, e o  $Q_{ger}$  representa o calor rejeitado ao meio durante o processo de retificação. As equações de massa, espécie e energia são as Eqs. 9, 10 e 11.

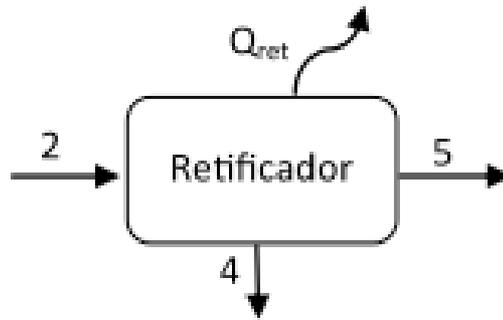


Figura 8. Diagrama representativo do processo de retificação.

$$m_2 = m_4 + m_5 \quad \text{Eq. 9}$$

$$Q_{ret} = m_2 h_2 - m_5 h_5 - m_4 h_4 \quad \text{Eq. 10}$$

$$m_2 x_2 = m_4 x_4 + m_5 x_5 \quad \text{Eq. 11}$$

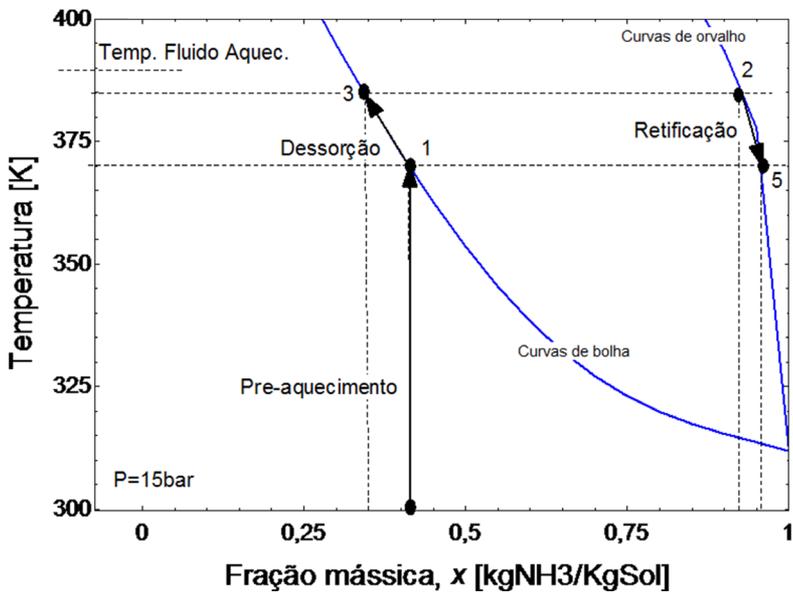


Figura 9. Processo de separação da amônia da solução de amônia-água.

Para explicar melhor esses processos, é apresentado a Fig. 9, na abscissa se tem a fração mássica, e na ordenada se tem a temperatura. Esse diagrama foi cortado e ampliado da Fig. 3, representado a zona de interesse para uma pressão típica no estágio de alta pressão, 15 bar. A mistura é preaquecida até atingir o ponto 1, curva de bolha. A mistura entra ao gerador, e acontece a separação de amônia que corresponde ao ponto 2, e mistura na saída do gerado atinge o estado 3 de equilíbrio com o ponto 2. Pelo processo de retificação o vapor de amônia é purificado para atingir o ponto 5.

- **Condensação:** é relacionado a processo de mudança de fase, onde o vapor de amônia que sai do retificador entra num trocador de calor, ponto 5, e rejeita calor ( $Q_{con}$ ) para o meio, atingindo a fase líquida na saída do mesmo, ponto 6 (Fig. 9). Essa mudança de fase é computada pela diferença de entalpias para um processo de condensação a pressão constante.



Figura 10. Diagrama representativo do processo de condensação.

Aplicando as equações de conservação de massa, espécies e energia têm;

$$m_6 = m_5 \quad \text{Eq. 12}$$

$$Q_{con} = m_5 h_5 - m_6 h_6 \quad \text{Eq. 13}$$

$$x_5 = x_6 \quad \text{Eq. 14}$$

- *Válvula de expansão #1 e #2*: reduzem a pressão num processo isentálpico, passando do estágio de alta a baixa pressão. Os pontos 6 e 10, são linhas que vem da saída do condensador e do trocador de calor, respectivamente. Os pontos 7 e 11 são as linhas que entram ao evaporador e absorvedor, respectivamente. A continuação são apresentadas as equações de conservação de massa, espécies e energia para esses componentes (Eq.15-20),

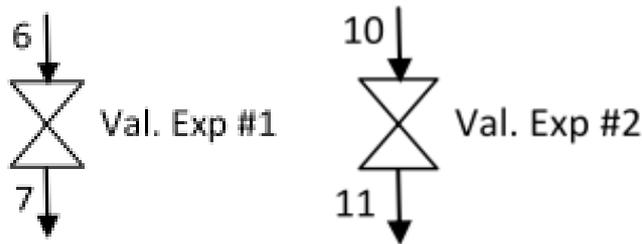


Figura 11. Diagrama representativo das válvulas de expansão.

$$m_6 = m_7 \quad \text{Eq. 15}$$

$$m_7 h_7 = m_6 h_6 \quad \text{Eq. 16}$$

$$x_7 = x_6 \quad \text{Eq. 17}$$

$$m_{11} = m_{10} \quad \text{Eq. 18}$$

$$m_{10} h_{10} = m_{11} h_{11} \quad \text{Eq. 19}$$

$$x_{11} = x_{10} \quad \text{Eq. 20}$$

*Evaporação*: similar ao processo de condensação, a evaporação é um processo de mudança de fase, onde absorve calor do meio, produzindo o efeito refrigeração. A Fig. 13. representa o processo de evaporação, a saída no ponto 8 é assumida para sair como vapor saturado.



Figura 12. Diagrama representativo do evaporador.

As equações de conservação de massa, espécies e energia são;

$$m_7 = m_8 \quad \text{Eq. 21}$$

$$Q_{eva} = m_8 h_8 - m_7 h_7 \quad \text{Eq. 22}$$

$$x_7 = x_8 \quad \text{Eq. 23}$$

- **Absorção:** é um dos processos mais importantes no ciclo, e que, portanto vem sido estudado nos últimos anos. No processo de absorção há uma transferência simultânea de calor e massa, onde o vapor proveniente do evaporador (ponto 8) é absorvido pela solução fraca que vem do gerador após de passar a válvula de expansão (ponto 11), dessa maneira a solução é enriquecida em amônia (ponto 9). O processo de absorção pode ser análogo ao processo de condensação no sentido que existe uma mudança de fase, porém a absorção implica que já há uma fase condensada presente na entrada do absorvedor (Herold., *et al.*, 1996). A energia liberada no processo de absorção é absorvida por um fluido secundário.

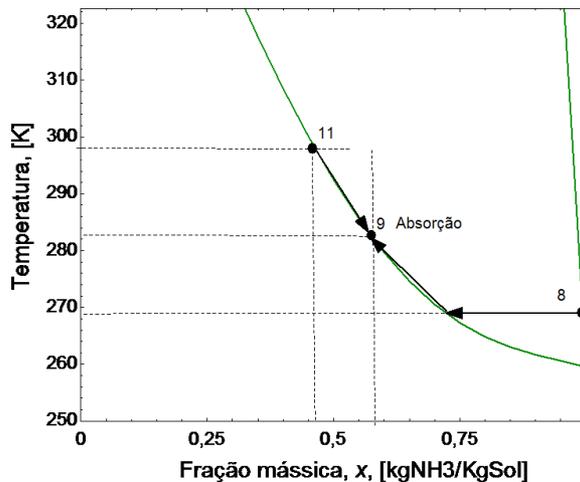


Figura 13. Processo de absorção a pressão constante.

A Fig. 14 apresenta os fluxos massa e energia de entrada e saída do absorvedor. Os respectivos balanços são apresentados pelas Eqs. 24-26.

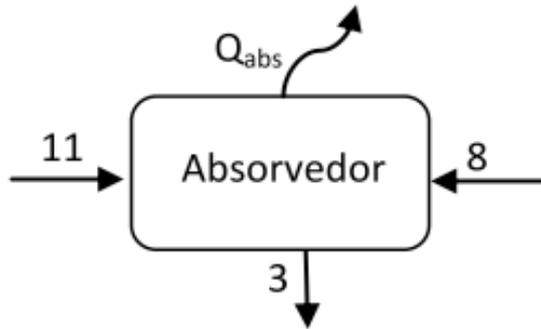


Figura 14. Diagrama representativo do processo de absorção.

$$m_{10} + m_8 = m_9 \quad \text{Eq. 24}$$

$$Q_{abs} = m_8 h_8 + m_{10} h_{10} - m_9 h_9 \quad \text{Eq. 25}$$

$$m_8 x_8 + m_{10} x_{10} = m_9 x_9 \quad \text{Eq. 26}$$

- *Trocador de calor*: é assumido para ser um trocador de calor ideal. A linha 3-11 é subresfriada para entrar no absorvedor, e a linha 12-1 é preaquecida para entrar no gerador, desse modo usa-se um trocador de calor, melhorando a eficiência do ciclo ou diminuindo a exergia destruída. Os balanços de massa, espécies e energia da Fig. 16 são apresentados pelas Eqs. 27-32.

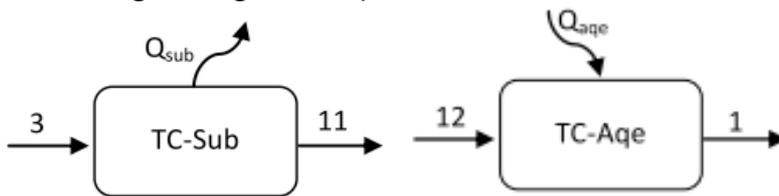


Figura 15. Diagrama representativo do trocador de calor.

$$m_{11} = m_3 \quad \text{Eq. 27}$$

$$Q_{sub} = m_3 h_3 - m_{11} h_{11} \quad \text{Eq. 28}$$

$$x_{11} = x_3 \quad \text{Eq. 29}$$

$$m_1 = m_{12} \quad \text{Eq. 30}$$

$$Q_{sub} = m_1 h_1 - m_{12} h_{12} \quad \text{Eq. 31}$$

$$x_{12} = x_1 \quad \text{Eq. 32}$$

**Bombeamento:** esse sistema leva o fluido do estágio de baixa pressão ao estágio de alta pressão. É assumido um bombeamento isentrópico. A linha 12 da Fig 16 vá até o gerador, e a linha 9 vem do absorvedor. Desse modo, as equações desse volume de controle são dadas pelas Eqs. 34-35.

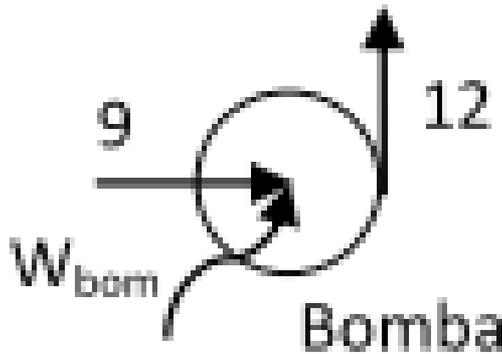


Figura 16. Diagrama representativo da bomba.

$$m_9 = m_{12} \quad \text{Eq. 33}$$

$$W_{bom} = m_{12} h_{12} - m_9 h_9 \quad \text{Eq. 34}$$

$$x_{12} = x_9 \quad \text{Eq. 35}$$

- **Condições de operação e hipóteses simplificadores:** para entender melhor o ciclo é apresentado umas condições reais de operação. Condições de operação: (1) Temperatura de condensação,  $T[6]=40+273,15\text{K}$ ; (2) Temperatura de evaporação,  $T[8]=-20+273,15\text{K}$ ; (3) carga térmica,  $Q_{eva}=3,517 \text{ [kW]} - 1\text{TR}$ ; (4) Temperatura de operação do gerador,  $T[3]=100+273,15\text{K}$ ; e (5) temperatura saída do absorvedor,  $T[9]=25+273,15\text{K}$ . O problema é reduzido numericamente com as seguintes simplificações:
  - a) Título: estados 3,4,6,e 9 como líquido saturado.
  - b) Título: estados 2,5, e 8 como vapor saturado.
  - c) Pressão: estados 1,2,3,4,5,6,11, e 12 estágio de alta pressão.
  - d) Pressão: estados 7,8,9, e 10 estágio de baixa pressão.
  - e) Equilíbrio termodinâmico entre estados 3 e 2,  $T[3]=T[2]$ .
  - f) A temperatura 4 pode ser definida como uma media aritmética das temperaturas 2 e 5,  $T[4]=0,5*(T[2]+T[5])$ .

- g) Na saída do retificador tem-se vapor de amônia pura,  $x[5]=1$ .
- h) Trocador de calor idea,  $Q_{sub}=Q_{aqe}$ ,  $T[11]=T[12]$ .
- i) Bombeamento isentrópico,  $s[9]=s[12]$ .

### 3. Resultados e comentários

A Fig. 17 apresenta os estados definidos para cada processo dentro do ciclo de refrigeração por absorção. Esses resultados foram obtidos com a resolução do equacionamento através do programa EEE “Engineering Equation Solver”, e pode ser usado para avaliar outras condições de operação. Em referência aos resultados é importante ressaltar que o coeficiente de desempenho do ciclo ( $COP=0,5306$ ) é baixo comparado com os sistemas de refrigeração por compressão (valores típico de 3), ou seja, aproximadamente 6 vezes menor. No entanto, o sistema de refrigeração por absorção é um sistema totalmente passivo, a exceção da bomba. Se se compara-se novamente com ciclo de refrigeração a compressão, a bomba só consome o 3% de potencia do que que gastaria o compressor. As vantagens de esses ciclos a pesar de ter um COP baixo, é que podem ser usados em configurações onde exista rejeito de calor, e assim, esse poder ser aproveitado no gerador.

Para produzir uma tonelada de refrigeração ou 3,5 kW é necessário trabalhar com uma concentração de amônia de 0,49. Finalmente, o por regra geral pode ter uma ideia do calor requerido no gerador comparando-o com o calor rejeitado no absorvedor, já que esses valores estão bem próximos.

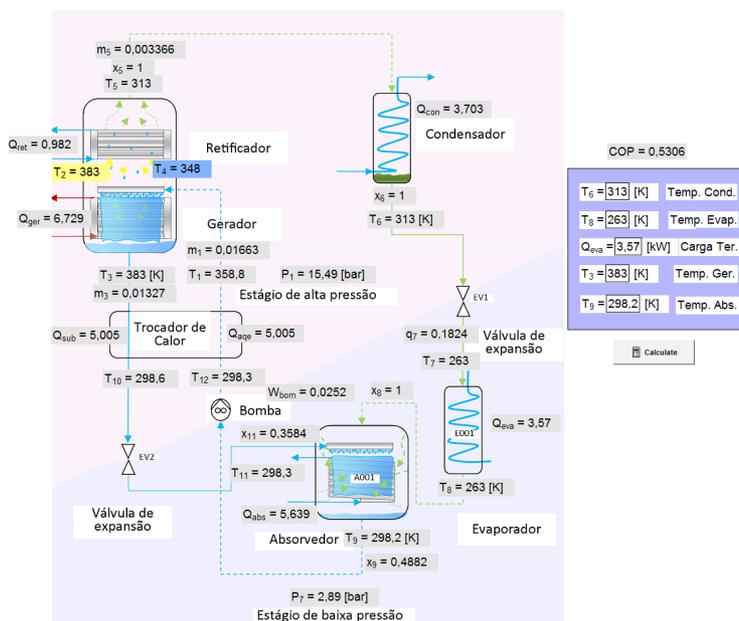


Figura 17. Ciclo de refrigeração com seus estados definidos para cada processo para uma mistura de amônia-água.

## 4. Conclusões

O trabalho apresentou o desenvolvimento histórico dos ciclos de refrigeração de absorção. Além disso, abordou o ciclo de refrigeração desde sua operação e os processos que o integram. Adicionalmente, foi analisado os balances de massa, espécies e energia para resolver numericamente um ciclo de refrigeração por absorção. Finalmente, foi ressaltada a importância do ciclo de refrigeração em processos combinados, conhecidos como processos de cogeração, onde existem demandas simultâneas de energia, calor ou frio.

## Bibliografia

Elvas, M., Peres, I. & Carvalho, S. (2010). Making science cooler: Carré's apparatus. The circulation of Science and Technology: Proceedings of the 4th International Conference of ESHS, Barcelona, 18-20 November 2010. SCHCT-IEC, p. 441.

Herold, K, Radermacher, R & Sanford, A. (1996). Absorption chillers and heat pumps. CRC press.

## Anexo - Código de EES

“Condições de operação”

$\{T[6]=40+273,15$  “Temperatura de condensação”  
 $T[8]=-20+273,15$  “Temperatura de evaporação”}  
 $\{Q\_eva=3,517$  [kW]”Carga térmica- Equivalente a 1TR”}  
 $\{T[9]=25+273,15$  “Temperatura saída do absorvedor”}  
 $\{T[3]=100+273,15$  “Temperatura de alta”}

“Hipoteses simplificadoras”

$q[3]=0$ :  $q[3]=q[4]$ :  $q[3]=q[6]$ :  $q[3]=q[9]$ : “Líquido Saturado”  
 $q[2]=1$ :  $q[2]=q[5]$ :  $q[2]=q[8]$  “Vapor saturado”  
 $P[6]=P[5]$ :  $P[6]=P[4]$ :  $P[6]=P[2]$ :  $P[6]=P[3]$ :  $P[6]=P[1]$ :  $P[6]=P[12]$ :  $P[6]=P[11]$  “Estágio de alta pressão”  
 $P[8]=P[7]$ :  $P[8]=P[10]$ :  $P[8]=P[9]$  “Estágio de baixa pressão”  
 $T[3]=T[2]$  “Equilíbrio termodinâmico”  
 $T[4]=0,5*(T[2]+T[5])$  “Temp. [4] é uma média das  $T[2]+T[5]$ ”  
 $x[5]=1$  “Amônia pura”  
 $Q\_sub=Q\_aqe$  “Troc. de Calor- Comp. Infinito”  
 $s[9]=s[12]$  “Trabalho de bomba isentrópico”  
 $T[11]=T[12]$  “Trocador de calor em contracorrente”

“Espécies”

$\{m[1]*x[1]+m[4]*x[4]=m[2]*x[2]+m[3]*x[3]$  “Gerador”  
 $m[2]*x[2]=m[4]*x[4]+m[5]*x[5]$  “Retificador”  
 $x[5]=x[6]$  “Condensador”  
 $x[6]=x[7]$  “Val. Expansão #1”  
 $x[7]=x[8]$  “Evaporador”  
 $m[8]*x[8]+m[10]*x[10]=m[9]*x[9]$  “Absorvedor”  
 $x[10]=x[11]$  “Val. Expansão #2”  
 $x[11]=x[3]$  “Subcooled”

$x[9]=x[12]$  “Bomba”  
 $x[12]=x[1]$  “Aquecedor”

“Massa”

$\{m[1]+m[4]=m[2]+m[3]$  “Gerador”}  
 $m[2]=m[4]+m[5]$  “Retificador”  
 $m[5]=m[6]$  “Condensador”  
 $m[6]=m[7]$  “Val. Expansão #1”  
 $m[7]=m[8]$  “Evaporador”  
 $m[8]+m[10]=m[9]$  “Absorvedor”  
 $m[10]=m[11]$  “Val. Expansão #2”  
 $m[11]=m[3]$  “Subcooled”  
 $m[9]=m[12]$  “Bomba”  
 $m[12]=m[1]$  “Aquecedor”

“Energia”

$Q_{ger}=m[2]*h[2]+m[3]*h[3]-m[1]*h[1]-m[4]*h[4]$  “Gerador”  
 $Q_{ret}=m[2]*h[2]-m[5]*h[5]-m[4]*h[4]$  “Retificador”  
 $Q_{con}=m[5]*h[5]-m[6]*h[6]$  “Condensador”  
 $h[6]=h[7]$  “Val. Expansão #1”  
 $Q_{eva}=m[8]*h[8]-m[7]*h[7]$  “Evaporador”  
 $Q_{abs}=m[8]*h[8]+m[10]*h[10]-m[9]*h[9]$  “Absorvedor”  
 $h[11]=h[10]$  “Val. Expansão #2”  
 $Q_{sub}=m[3]*h[3]-m[11]*h[11]$  “Subcooled”  
 $W_{bom}=m[12]*h[12]-m[9]*h[9]$  “Bomba”  
 $Q_{aqe}=m[1]*h[1]-m[12]*h[12]$  “Aquecedor”

“Propiedades termodinâmicas”

“Amônia pura”

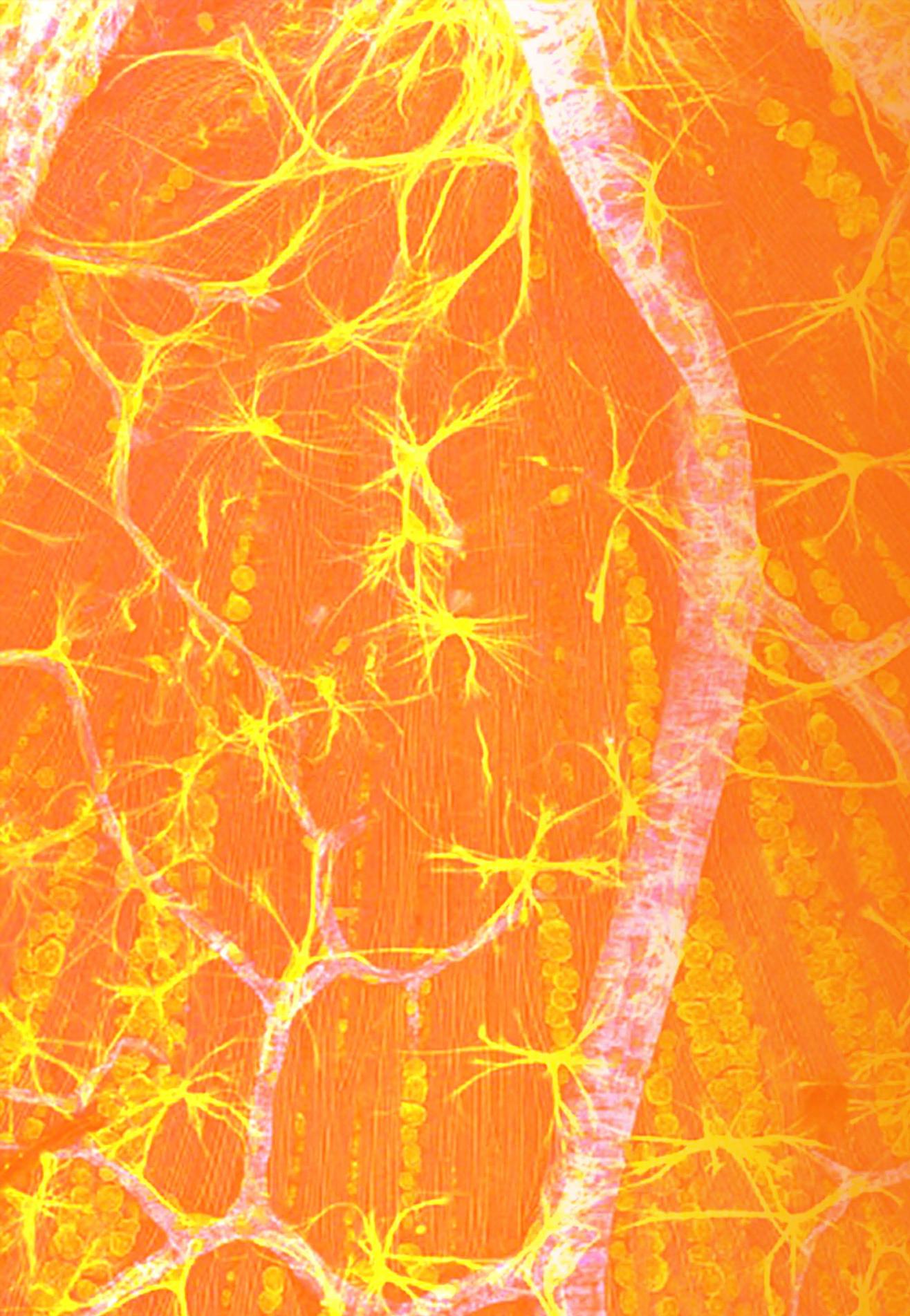
$h[6]=\text{Enthalpy}(\text{Ammonia};T=T[6];x=q[6])$  “Ent. Cond”  
 $h[8]=\text{Enthalpy}(\text{Ammonia};T=T[8];x=q[8])$  “Saí. Eva”  
 $P[8]=\text{Pressure}(\text{Ammonia};T=T[8];x=q[8])$  “Estágio de baixa pressão”  
 $P[6]=\text{Pressure}(\text{Ammonia};T=T[6];x=q[6])$  “Estágio de alta pressão”  
 $q[7]=\text{Quality}(\text{Ammonia};T=T[7];h=h[7])$  “Tit. VE#1”  
 $T[7]=\text{Temperature}(\text{Ammonia};P=P[7];h=h[7])$   
 $T[5]=\text{Temperature}(\text{Ammonia};P=P[5];x=q[5])$   
 $h[5]=\text{Enthalpy}(\text{Ammonia};P=P[5];x=q[5])$

“Solução de Amônia-Água”

$\text{Call NH}_3\text{H}_2\text{O}(128; T[9]; P[9]; q[9]; \{T\}; \{P\}; x[9]; h[9]; s[9]; \{u\}; \{v\}; \{Qu\})$  “Saí. Abs”  
 $\text{Call NH}_3\text{H}_2\text{O}(235; P[12]; x[12]; s[12]; T[12]; \{P\}; \{x\}; h[12]; \{s\}; \{u\}; \{v\}; \{Qu\})$  “Saí. Bom.”  
 $\text{Call NH}_3\text{H}_2\text{O}(234; P[1]; x[1]; h[1]; T[1]; \{P\}; \{x\}; \{h\}; \{s\}; \{u\}; \{v\}; q[1])$  “Ent. Ger”  
 $\text{Call NH}_3\text{H}_2\text{O}(128; T[3]; P[3]; q[3]; \{T\}; \{P\}; x[3]; h[3]; \{s\}; \{u\}; \{v\}; \{Qu\})$  “Saí. Ger-Sol. Fraca”  
 $\text{Call NH}_3\text{H}_2\text{O}(123; T[11]; P[11]; x[11]; \{T\}; \{P\}; \{x\}; h[11]; \{s\}; \{u\}; \{v\}; q[11])$   
 $\text{Call NH}_3\text{H}_2\text{O}(234; P[10]; x[10]; h[10]; T[10]; \{P\}; \{x\}; \{h\}; \{s\}; \{u\}; \{v\}; q[10])$  “Saí. VE#2”  
 $\text{Call NH}_3\text{H}_2\text{O}(128; T[2]; P[2]; q[2]; \{T\}; \{P\}; x[2]; h[2]; \{s\}; \{u\}; \{v\}; \{Qu\})$  “Sid. Ger-Ent. Ret.”  
 $\text{Call NH}_3\text{H}_2\text{O}(128; T[4]; P[4]; q[4]; \{T\}; \{P\}; x[4]; h[4]; \{s\}; \{u\}; \{v\}; \{Qu\})$  “Ent. Ger-Refluxo”

“Parâmetros”

$\text{COP}=Q_{eva}/Q_{ger}$



## Modificación de la superficie de fibras de celulosa para su uso como refuerzo en materiales compuestos

**Daniel Pasquini, PhD**

Químico de la Universidad Federal de Uberlândia (1998), Maestría en Ciencias (Química-Física) (2000) y Doctor en Ciencias (Química-Física) (2004) de la Universidad de São Paulo. Post-doctorado (2005) en el extranjero, en la École Française de Papeterie et des Industries Graphiques de Grenoble, Francia.

Correo electrónico: daniel.pasquini@ufu.br, danielpasquini2013@gmail.com

### Resumen

La celulosa es el polímero natural más abundante en la naturaleza formado por unidades glicosídicas. La combinación de las moléculas de celulosa conduce a la formación de fibras vegetales con propiedades mecánicas interesantes. Las fibras de celulosa tienen potencial para su uso como elementos de refuerzo de materiales compuestos debido a sus excelentes propiedades mecánicas, además de ser fuentes biodegradables y renovables. Sin embargo, debido a su carácter polar, las fibras de celulosa tienen una baja adhesión con matrices de polímeros no polares. Por lo tanto, una solución para mejorar la adhesión interfaces entre la fibra-matriz es hacer la modificación química en la superficie de las fibras de celulosa. Así, este trabajo tiene como objetivo presentar los resultados de los estudios relacionados con la modificación química de la superficie de las fibras de celulosa, el cambio de las características químicas de la superficie, preservando el interior de la fibra y manteniendo las propiedades mecánicas originales.

**Palabras clave:** adhesión interfases, celulosa, materiales compuestos, modificación química.

## 1. Introducción

El uso de fibras de celulosa en áreas innovadoras de la ciencia de materiales recientemente ha ganado considerable atención debido a tres ventajas potenciales que poseen: (i) su carácter biorenovable, (ii) su disponibilidad vasta en una variedad de formas, y (iii) su bajo costo. Las fibras de celulosa se han usado durante siglos en las industrias tradicionales como la fabricación de papel y textil en los que se utilizan como fuente de materiales, la medicina y las aplicaciones de análisis en el que se emplean como coadyuvantes, excipientes y cargas de columna entre otras aplicaciones. Una adición reciente a estos numerosos ámbitos ha sido la modificación de la superficie, destinada a ampliar su uso a campos novedosos como (i) elementos en materiales macromoleculares de refuerzo, (ii) sustitución de la fibra de vidrio, (iii) trampas de contaminantes para moléculas orgánicas en un medio acuoso; (iv) materiales magnéticamente activos para las tecnologías de microondas, (v) obtención de materiales foto-luminiscentes para dispositivos electrónicos y optoelectrónicos, etc.

Las fuerzas motrices relacionadas con el uso de fibras de celulosa en estos nuevos campos de aplicación residen, además, en la facilidad con la que pueden ser reciclados al final de su ciclo de vida, ya sea a través de su actual re-uso, o por medio de combustión (recuperación de energía). Por último, las fibras de celulosa poseen ventajas adicionales como baja densidad y modesto impacto abrasivo. La modificación de la superficie de fibras de celulosa, en vista de su incorporación en matrices macromoleculares con el fin de producir materiales compuestos, ha sido ampliamente revisado en la literatura en los últimos años.

## 2. Desarrollo

El término “funcionalización de fibras de celulosa”, describe el injerto de nuevos grupos químicos en la superficie o dentro de una profundidad limitada, con el fin de generar nuevas propiedades específicas en comparación con las del material virgen. Las entidades químicas que participan en estas transformaciones son predominantemente los grupos de celulosa OH, que también han sido explotadas por sus modificaciones globales, no sólo en los procesos tradicionales, como la síntesis de ésteres y éteres, sino también para la preparación de nuevos derivados.

La diferencia fundamental entre los tratamientos global (o total) y de superficie es que el primero conduce a una transformación radical de toda la fibra, que casi siempre destruye su morfología, mientras que el último mantiene las características prácticamente intactas de la fibra, excepto por una capa exterior muy delgada cuyo espesor puede variar desde unos pocos nanómetros a algunos micrómetros. Un significado extendido de este término incluye la unión de las nanopartículas o macromoléculas en la superficie de las fibras a través de interacciones físico-químicas.

El propósito de esta presentación es hacer frente a la modificación de la superficie de fibras de celulosa con el fin de proporcionarles funcionalidades específicas, de modo que puedan desempeñar papeles determinantes en aplicaciones como

elementos de materiales compuestos, estructuras de materiales compuestos independientes, agentes anti-contaminación, materiales híbridos y superficies superhidrofóbicas.

### 3. Conclusiones

El interés en el uso de fibras de celulosa para participar en la revolución tecnológica asociada a una búsqueda de materiales funcionales para fines muy específicos y eficientes se ha convertido en una realidad. Juega un papel decisivo la necesidad de sustituir elementos de refuerzo convencionales para materiales por razones ecológicas y de energía, es decir. Un aspecto que implica grandes cantidades de fibras, y la necesidad de preparar dispositivos de alta tecnología en la que los componentes a base de celulosa, incluso si sólo están presentes en proporciones modestas.

### Referencias

- Gandini, A. & Belgacem, M. (Eds.). (2008). *Monomers, polymers and composites from renewable resources*. Great Britain: Elsevier.
- Fengel, D. & Wegener, G. (1989). *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Berlin/ New York: Walter de Gruyter.
- Canevarolo, J. & Sebastião V. (2006). *Ciências dos Polímeros*. São Carlos – SP: Artliber Editora Ltda.
- Karak, N. (2012). *Vegetable oil-based polymers: Properties, processing and applications*. Padstow: Woodhead Publishing.



# Realidad de los asfaltos en Colombia

Edgar Francisco Pantoja Agreda

Ingeniero Químico, PhD, Universidad Nacional de Colombia, Universite Claude Bernad (Lyon), UIS, Gerente Producción, Sustancias Básicas Colombianas, SAS

Correo electrónico: producción@sbcdecolombia.com / pantoja.francisco@gmail.com

## Resumen

El asfalto para construir las vías del país, lo produce Ecopetrol en su refinería de Barrancabermeja y presentaba problemas de calidad debido a dos factores: dietas variables de crudo y problemas de proceso por cumplimiento de indicadores de gestión económica de las plantas.

Con base en los reclamos de los clientes y las entidades contratantes: Invias e IDU, y luego de analizar las fallas recurrentes de las carpetas asfálticas, se implementa un procedimiento de optimización que se soporta en cuatro pilares de producción y calidad: tipo de crudo, tecnología de refinación, calidad de los agregados y tecnologías de aplicación.

Con una buena selección de crudos, realizada en planta piloto, modificando la tecnología de refinación en Barrancabermeja que implicó cambios de proceso en las unidades de destilación de crudo y montaje de un sistema de mezcla automático, caracterizando y seleccionando unos agregados que cumplan con las propiedades de adherencia con el asfalto y modificando las tecnologías de mezcla y compactación de la carpeta asfáltica se logró disponer de un asfalto de calidad internacional que se puede utilizar en las vías de cuarta generación.

Actualmente se iniciara la producción de asfalto en otras refinerías privadas: Refiantioquia e Hidrocasanare, las cuales utilizan un proceso diferente al de Ecopetrol, el cual se basa en extracción líquido-líquido con solvente, este asfalto también cumple con las especificaciones internacionales de calidad.

**Palabras clave:** Asfalto, crudos, optimización de mezclas asfálticas, proceso de destilación.

## 1. Introducción

En la actualidad las estructuras de pavimentos en nuestro país requieren de mantenimiento funcional y estructural antes de lo previsto, es decir, las estructuras no están cumpliendo con el periodo de diseño para la cual fueron diseñadas. Este fenómeno se debe entre otras cosas a la calidad de los materiales: asfalto y agregados, diseños y procesos constructivos del pavimento.

Algunos constructores sospechan que este fenómeno se debe a la calidad del asfalto utilizado en la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente. Se fundamentan en que los agregados no han cambiado, son de la misma cantera, la temperatura de fabricación en la planta en ningún momento se ha disparado..., el extendido se ha hecho con temperaturas y climatología dentro de lo autorizado..., los parámetros de compactación de la mezcla obtenidos del tramo de prueba se han cumplido al pie de la letra..., etc., etc. (factores todos ellos muy difíciles de comprobar al cabo de algunos meses).

De igual manera, empresas encargadas de la transformación y comercialización de productos asfálticos en Colombia han manifestado inconformidad en la homogeneidad de los asfaltos suministrados en el país. Esta variabilidad del producto los obliga a realizar reformulaciones y cambios en los estándares de producción, asumiendo los incrementos en los costos del mismo.

Con base a lo anterior y a registros que se tienen de mediciones de tipo físicas y químicas de las principales propiedades de los asfaltos colombianos que se producen en refinería, se han detectado problemas de estabilidad y homogeneidad del asfalto utilizado en la elaboración de las mezclas asfálticas, que hacen que se presente a este material como el sospechoso principal en la causa del deterioro prematuro de nuestros pavimentos y se reflejen las falencias de las actuales especificaciones para controlar tan altas variaciones. Expertos en el tema, basados en experiencias e investigaciones, sospechan que los problemas de homogeneidad y estabilidad de los asfaltos se inician en el proceso de refinación del crudo.

Ante todo esta problemática surge un interrogante, ¿Las especificaciones actuales son suficientes para garantizar el buen desempeño de los asfaltos utilizados para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente a lo largo de la vida útil del pavimento? ¿Tienen en cuenta la variabilidad de las características del asfalto debido a cambios en los crudos y/o procesos de obtención en la refinería?

Con este análisis se pretende modificar los factores que influyen en la mala calidad de las mezclas asfálticas para aumentar la vida útil del pavimento en las vías 4G.

## 2. ¿Qué está pasando con las refinerías?

Dentro de los Materiales que conforman las superficies de rodadura flexibles en una estructura de pavimento, sin lugar a dudas, el ligante y los agregados son los principales responsables del su buen comportamiento a lo largo de toda su “vida útil”. Sin embargo, además de estos materiales, existen otros factores que influyen de forma determinante en el buen funcionamiento de las capas de una estructura

de pavimento: el diseño de la mezcla, la elección adecuada de los materiales, el cumplimiento de los distintos parámetros de fabricación, la consecución de la fórmula de trabajo prevista, el extendido y la compactación en condiciones y con maquinaria adecuadas a cada tipo de mezcla, etc.

Unido a lo anterior, la poca o nula información que provee el productor de asfalto sobre las características del proceso utilizadas para la obtención del ligante, hacen que se presente a este material como el sospechoso número uno en la causa del deterioro prematuro de nuestros pavimentos; quizás por ser ellos los materiales más complejos y desconocidos de los que se utiliza para la elaboración de las mezclas es que se trata de hacerle recaer la responsabilidad de los problemas.

En el siglo pasado, las cargas o dietas de crudo que se utilizaban en refinería para obtener los asfaltos, eran homogéneos y muy conocidos, al igual que los parámetros operativos de las refinerías. Por lo general los yacimientos utilizados han llegado a su etapa final de producción, siendo necesario acudir a nuevas fuentes o materia prima. Como no todas las fuentes de crudo son aptas para producir un “buen” asfalto, es necesario realizar una mezcla proveniente de varias fuentes, que permita obtener productos entre los estándares predefinidos por las especificaciones.

La creciente industrialización de los países en vías de desarrollo, está llevando al límite la capacidad de producción mundial de las refinerías de petróleo, siendo necesario la construcción de nuevas y más modernas infraestructuras de refino de crudos, más eficientes que las actuales, en los países industrializados.

La selección de un determinado esquema de refino depende de dos factores fundamentales: el mercado al que se dirige la producción y las características de los crudos que se prevé refinar. La mayoría de reservas existentes están formadas por crudos pesados y agrios, mientras que los depósitos de crudos ligeros y extraligeros y de bajo contenido en azufre, requeridos por aquellas refinerías con poca capacidad de conversión, son más escasos y se están agotando a mayor velocidad.

Esta tendencia hace que en el diseño de las refinerías se contemple la alimentación con crudos medios y pesados de calidad decreciente, de mayor disponibilidad en el mercado, que requieren procesos de conversión profunda para eliminar o disminuir al máximo la generación de residuos.

### **3. Problemas comunes en una mezcla asfáltica**

Tomando como base la información recopilada de distintas fuentes de usuarios del cemento asfáltico y los estudios al respecto a nivel nacional e internacional, se pueden diferenciar los siguientes problemas de la mezcla asfáltica relacionados en mayor o menor grado con un deficiente comportamiento del ligante asfáltico. Estos son:

- Fisuramiento a temprana edad.
- Desprendimiento de partículas de agregado.
- Mala adherencia asfalto-agregado.
- Ahuellamiento.

Cada una de estos problemas está relacionado de manera directa o indirecta con la producción del ligante en refinería, deficiente control de calidad en los distintos procesos utilizados para producir la mezcla en la planta asfáltica, las limitaciones propias de las especificaciones utilizadas para controlar la calidad del ligante, los procesos de construcción, la falta de comunicación entre el proveedor del ligante y usuario, variabilidad de las características del ligante que llega a la planta, entre los más importantes.

#### **Posibles causas del fisuramiento prematuro**

- Deficiente diseño estructural.
- Deficiencias en proceso constructivo.
- Deficiente calidad de los materiales.
- Rigidización acelerada del asfalto.
  - Problemas en planta.
  - Alto porcentaje de vacíos.
  - Mal diseño de la mezcla asfáltica.
  - Material fino activo en el agregado.
  - Tipos de crudos y procesos de obtención en refinería.

#### **Posibles causas del desprendimiento de partículas**

- Deficiente diseño de la mezcla.
- Envejecimiento del asfalto.
  - Problemas en planta.
  - Alto porcentaje de vacíos.
  - Mal diseño de la mezcla asfáltica.
  - Material fino activo en el agregado.
  - Tipos de crudos y procesos de obtención en refinería.

#### **Posibles causas de una deficiente afinidad con el agregado**

- Deficiente diseño de la mezcla.
- Problemas durante la fabricación de la mezcla en planta.
- Material fino activo en el agregado.
- Tipos de crudos y procesos de obtención en refinería.

#### **Posibles causas del ahuellamiento por deformación plástica de la mezcla**

- Deficiente diseño de la mezcla.
  - Calidad de los agregados.
  - Características granulométricas.
- Poca capacidad elástica del asfalto.

Como se observa, a excepción de los problemas de ahuellamiento, existe una causa común en los diferentes problemas, que hace referencia al ligante bituminoso: el tipo de crudo utilizado y el proceso de obtención en la refinería.

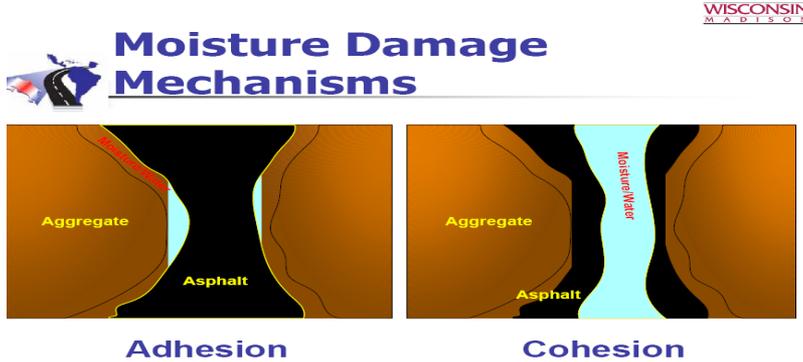


Figura 1. Efectos de problemas de humedad del agregado durante la fabricación de la mezcla asfáltica en planta.

No podemos desviar la atención de las otras causas relacionadas con los procesos de producción en la planta y colocación en obra, así como las características de los agregados, entre otros factores igualmente importantes para la durabilidad del pavimento. Un asfalto normal y que cumpla con las especificaciones puede salir envejecido debido a factores relacionados con malos manejos de los materiales en la planta. Agregados con exceso de humedad, debido a problemas de almacenamiento, pueden generar que quede incluido vapor de agua entre el ligante y la partícula, reflejándose en problemas de adherencia. De igual manera, puede quedar agua libre entre las partículas reflejándose en problemas de cohesión, generando el fenómeno de desprendimiento de partículas (Figura 1).

#### 4. Escenarios de evaluación de un asfalto

Cuando se desea conocer el comportamiento de un material es necesario definir muy bien cuál es el escenario de evaluación que más se acerque a las condiciones simuladas en un ensayo de laboratorio. En un asfalto se distinguen tres escenarios a tener en cuenta para evaluar su comportamiento:

- El escenario de producción.
- El escenario de manejo.
- El escenario de servicio.

##### Escenario de producción en refinería o industria especializada

Hasta el año 2002, en Ecopetrol, la mayor parte del asfalto se producía a partir de crudo mezclado. El residuo se procesa a unas condiciones de flasheo en la columna de vacío para obtener una penetración de 20-40 mm/10 y la especificación del asfalto producto (70-90 mm/10) se logra mediante el mezclado con gasóleo pesado de vacío. Una pequeña parte del asfalto se producía a partir del crudo LCT (crudo asfaltenico), con el cual se obtenía un producto de buena calidad, pero la mayoría se producía con una mezcla de crudos que en algunos casos pueden ser hasta de 32 componentes.

La producción de asfalto antes del 2002, presentaba problemas de calidad con respecto a las especificaciones internacionales (pérdida de masa, envejecimiento) debido a que la producción se realizaba mezclando el fondo de vacío de baja penetración con gasóleo de vacío. La mayor parte del asfalto se producía a partir de crudo mezclado.

A partir del 2002, con la implementación del proceso de optimización, se obtiene el asfalto mezclando dos componentes: fondos de vacío blandos y fondos de vacío duros. Los fondos de vacío blandos se producen del crudo LCT, complementados con fondos de vacío de mezclas de crudos Casabe y Galán con Omimex. Con estas adecuaciones la refinería de Barrancabermeja está en capacidad de producir hasta 15 kTon/mes de asfalto de calidad internacional.

La propuesta técnica implementada, consistió en:

1. Segregación de crudos para la producción de asfalto: Casabe, Galán y Omimex.
2. Obtención del componente duro (penetración: 20) por medio del procesamiento de la mezcla de crudos Casabe, Galán y Omimex en la unidad de destilación: U-2100.
3. Aprovechamiento del 100 % del fondo de vacío del crudo LCT procesado en la unidad de destilación: U-150, para la obtención de un componente blando (penetración: 120) para la mezcla.
4. Mezclado en línea para obtener el producto final.
5. Mejoramiento de la homogenización de los tanques de almacenamiento.

Para llevar a cabo esta optimización se realizaron varias actividades:

1. Selección de la Unidad Topping-Vacío: se seleccionó la unidad U-150 para producir el componente blando a partir del crudo LCT y la unidad U-2100 para el componente duro a partir de los crudos Casabe, Galán y Omimex.
2. Adecuación del mezclado en línea: se instaló un sistema de mezclado en línea que incluye bomba, válvulas de control, mezclador estático, medidores de flujo, mezcladores en el tanque intermedio, analizadores en línea.
3. Llenado de carrotanques: calibrar los medidores volumétricos e incluir en las órdenes de cargue las equivalencias en volumen y peso (galones y toneladas). Es absolutamente necesario que los conductores de los carrotanques conozcan la relación entre el volumen y el peso del asfalto, para minimizar los accidentes por sobrellenado (el computador de flujo debe suministrar la información).

Con la variación de los precios del crudo y de la cotización del dólar, Ecopetrol se ve obligado a optimizar la operación de la refinería y buscar la mayor rentabilidad de sus productos. Bajo esta premisa se ajusta la dieta de crudos a procesar, de tal manera que se cumpla con el pronóstico volumétrico comprometido y se obtenga el más alto beneficio.

Es este orden de ideas, se está en la búsqueda de la mejor mezcla de crudos que permita alcanzar el objetivo: asfalto de buena calidad y mayor margen de refinación.

En el Instituto Colombiano del Petróleo, se desarrolló esta actividad con base en la caracterización físico-química profunda de los crudos potenciales para la producción de asfalto, el análisis de rendimiento de las mezclas y el cálculo del margen de refinación, utilizando los modelos desarrollados en el ICP: "Optimet" y "Sigmaref".

Estos modelos permiten simular el cumplimiento de los rendimientos de todos los productos de la refinería y estimar el margen de refinación general.

Para realizar el análisis de los resultados se deben conformar las premezclas que se procesarán en la refinería, como se indica en la Figura 2.

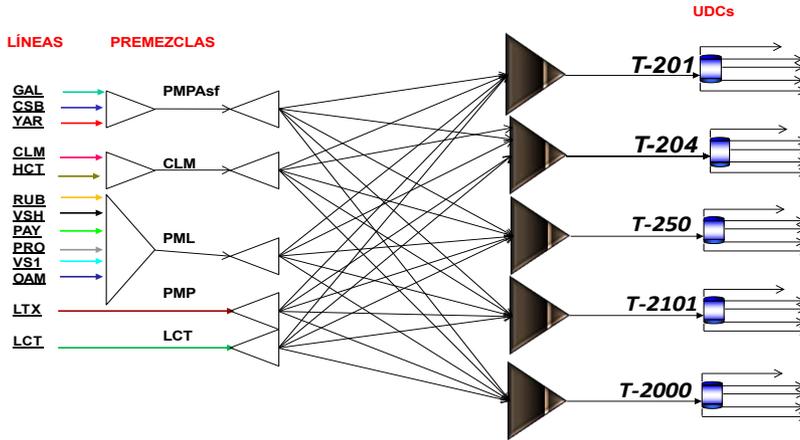


Figura 2. Esquema de las premezclas y unidades a las que se cargan.

Posterior a esta definición, se inicia el proceso de optimización del margen de refinación, buscando aumentar este valor con las nuevas premezclas, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.

PREMEZCLAS ANTERIORES	U-200	U-250	U-2000	U-2100	MARGEN
PMLiv	24.75%			36.45%	<b>9.55</b>
PMPes	55.00%	80.33%	40.15%	43.71%	
CLM	20.25%	5.96%	15.00%	19.84%	
LCT		13.71%			
CUS SEG			44.85%		
PREMEZCLAS PROPUESTAS	U-200	U-250	U-2000	U-2100	MARGEN
PMLiv	9.72%	9.22%	27.28%	24.27%	<b>9.59</b>
PMPes	84.92%	79.87%	9.86%	22.03%	
CLM	5.35%	10.87%	7.92%	53.68%	
LCT	0.01%	0.04%	10.07%	0.01%	
CUS SEG			44.85%		
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	

Como se observa, se logra aumentar el margen en 4 centavos de dólar, lo cual es significativo para la refinería, ya que equivalen a +/- US\$ 3 millones al año.

Para la implementación de las nuevas premezclas es necesario disponer de la logística de almacenamiento y cargue a las plantas, la cual se está revisando para ponerla en práctica. Se espera que en los próximos meses se implemente el nuevo esquema de segregación y cargue de crudos que permita obtener la calidad y rendimiento de todos los productos de la refinería y un margen superior al actual.

### **Escenario de manejo**

Comprende los diferentes procesos que se realizan para elaborar la mezcla asfáltica en la planta: calentamiento de los materiales, almacenamiento y conducción del asfalto, proceso de mezclado con los agregados y transporte a la obra, así como los procesos que tienen que ver con las acciones de extendido y compactación de la mezcla. Este escenario es tan importante como los otros, ya que cualquier deficiencia del producto se reflejará en un mayor grado de envejecimiento del ligante y posteriormente en problemas de la mezcla en servicio. Todas las variables involucradas en este escenario se deben controlar a través de un riguroso control de calidad, basados en ensayos que reproduzcan de manera confiable las condiciones que prevalecen en los diferentes procesos.

### **Escenario de servicio**

Corresponde al comportamiento de la mezcla asfáltica bajo la acción del tránsito vehicular, el clima y el mismo hombre. En servicio, el asfalto en contacto directo con las cargas del tránsito, clima y demás agentes externos, seguirá su proceso de envejecimiento con una mayor o menor intensidad dependiendo de lo vulnerable que sea la mezcla. En esto tiene mucho que ver la eficiencia en el proceso de compactación de las capas asfálticas que dependerá no solo de los equipos disponibles, sino también de los controles de calidad exigidos para garantizar que la mezcla adquiera y desarrolle las propiedades mecánicas necesarias que garanticen un buen performance en servicio.

El asfalto y el agregado trabajan de manera solidaria para responder de la mejor manera a las distintas solicitaciones durante el periodo de servicio. Algunas veces, el ligante debe aportar más a ese trabajo, sobre todo a temperaturas bajas y medias de servicio, en donde se requiere que la mezcla tenga una alta resistencia a la fisuración, es en este momento que entra a trabajar la capacidad elástica del ligantes y su ductilidad. A temperaturas altas, el agregado debe responder en mayor grado a esas solicitaciones ya que el ligante disminuye su poder cohesivo y aglutinante. El agregado con su capacidad friccionante debe satisfacer ese requerimiento y si no lo hace, el asfalto debe modificar sus propiedades para complementar ese requerimiento (asfaltos modificados).

## **5. Influencia de la variabilidad del asfalto en sus propiedades físicas, químicas y reológicas**

De acuerdo con la información proporcionada por diversas empresas de la construcción y productoras de asfalto, se muestra a continuación, como varían las principales propiedades de los asfaltos que se producen en las refinerías del país.

### Variabilidad de la composición química

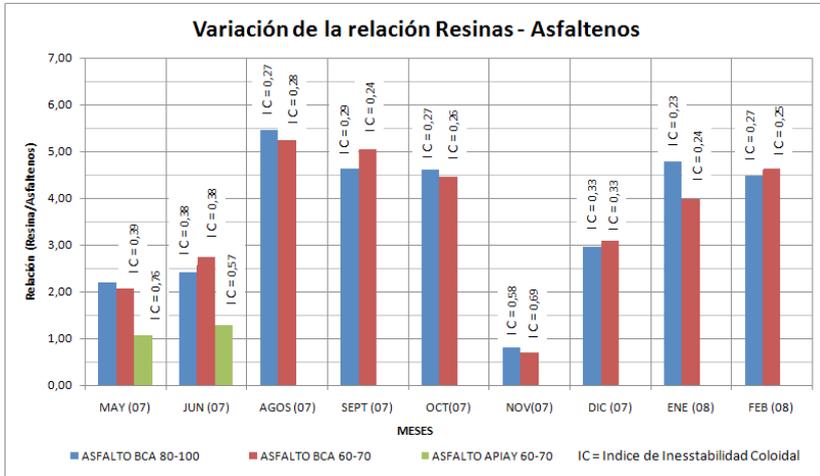


Figura 3. Variación de la capacidad de floculación de los asfaltos.

En las figuras 3 y 4 se pueden observar grandes variaciones de la composición química de los asfaltos producidos en las refinerías. En ellas se muestran como los diferentes grupos moleculares determinados a través del método de fraccionamiento SARA, cambian con el tiempo, en especial las fracciones asfaltos, resinas y aromáticos. Estas fluctuaciones reflejan la gran variabilidad de los procesos en el escenario de producción y que repercute en los cambios de las características de las mezclas que se fabrican en la planta y su comportamiento posterior en servicio. Se observan disminuciones drásticas de la relación resina/asfalto, lo cual puede ser causa de una rigidización prematura del ligante, haciéndolo más susceptible a las condiciones de envejecimiento bajo condiciones normales durante el proceso de mezclado con los agregados en la planta. Esta rigidización se reflejará en problemas prematuros de adherencia, desprendimiento de partículas y fisuramiento por fatiga bajo la acción de las cargas del tránsito, dependiendo de su intensidad y condiciones mismas del proyecto.

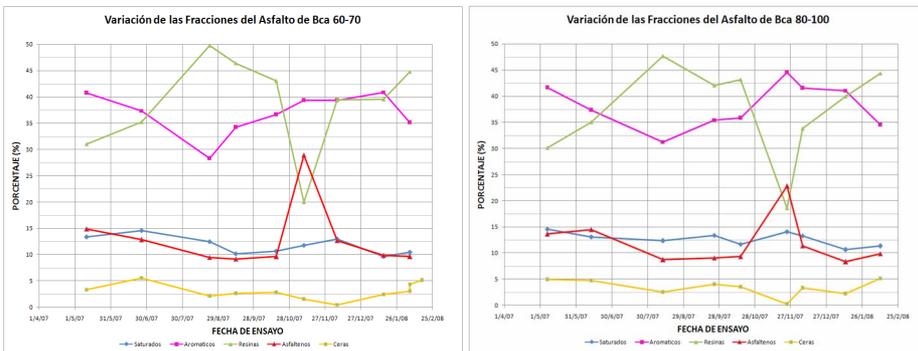


Figura 4. Variación de los principales grupos moleculares.

### Variabilidad de la consistencia a temperaturas altas y medias de servicio y su influencia en las propiedades dinámicas de las mezclas asfálticas

En la Figura 5 se puede ver claramente, una de las falencias grandes que tiene el especificar por grado de penetración. El asfalto cumple con dicha especificación pues se mantiene entre la penetración mínima y máxima exigida (80-100), pero no tiene en cuenta que no solo es esta propiedad la que está variando, si no que esta variabilidad con el tiempo, está relacionada con los cambios en las dietas de crudo y/o proceso de obtención del asfalto en la refinería. Estas variaciones no son solo físicas, sino que es un reflejo de la variación de los distintos grupos moleculares observados en las figuras 3 y 4.

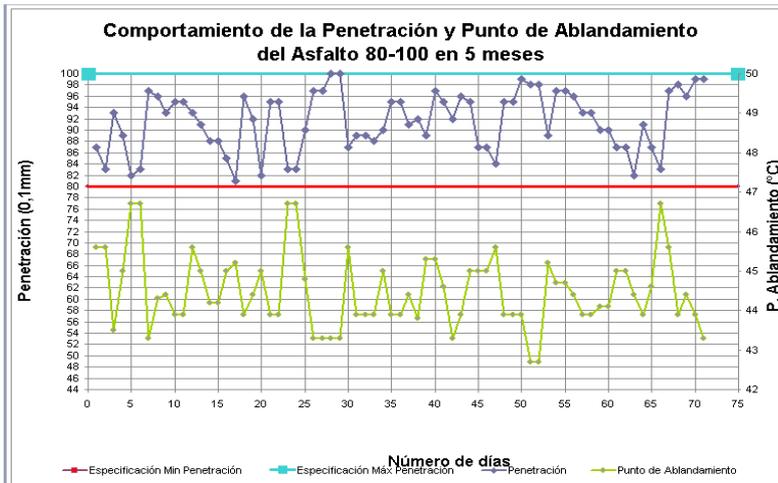


Figura 5. Variación de la consistencia a temperaturas medias y altas de servicio.

La clasificación por grado de penetración no garantiza por sí sola una calidad uniforme en el asfalto. Es una condición de fácil cumplimiento por los productores, que no minimiza los cambios en la composición química y estructuración molecular.

Igualmente, se observan fluctuaciones de la temperatura del punto de ablandamiento, reflejándose en cambios en la susceptibilidad térmica, un parámetro que depende de manera directa del tipo de carga de crudos y procesos de obtención del ligante en refinería y que al mostrar una gran fluctuación, se verá reflejada en las características dinámicas de la mezcla asfáltica, con la consiguiente variación de la vida útil del pavimento (variación de los ejes equivalentes de diseño).

Estas variaciones serán causales de aparición de problemas a temprana edad en las mezclas una vez se encuentren bajo las condiciones de servicio que obligarían a realizar cambios en los parámetros de fabricación en planta y compactación en obra. Los problemas más frecuentes que suelen relacionarse con estos cambios en la composición química son: rigidización de la mezcla por un envejecimiento acelerado del ligante, desprendimiento de partículas y disminución de la adherencia, acentuados aun mas, si se han utilizado crudos con alto contenido de saturados tipo parafínico o

un incremento de los mismos durante el proceso de refinación. Fenómenos como la floculación y posterior precipitación de los asfaltenos, pueden ser también una causa potencial a evaluar en cada uno de estos problemas, todo esto debido a fluctuaciones marcadas en la composición química y estructuración molecular.

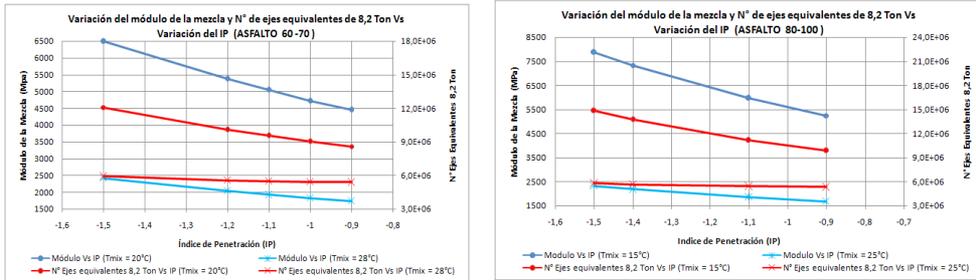


Figura 6. Influencia del cambio en la composición química del asfalto en el comportamiento dinámico de las mezclas asfálticas.

La viscosidad a 60 °C, como parámetro reológico, también presenta variaciones importantes durante el tiempo de análisis evaluado (Figura 6). Estas variaciones están directamente relacionadas con variaciones de los parámetros de producción en la refinería y se reflejará de manera directa en la intensidad de las distintas componentes de la rigidez: elástica y viscosa. Igualmente, contenidos altos de cera hacen que las viscosidades disminuyan en mayor o menor grado dependiendo del tipo y grado de cristalización, que a su vez dependerá de los crudos utilizados y/o proceso de obtención. El especificar un valor mínimo de este parámetro reológico, hace que la mezcla entre las temperaturas bajas y medias de servicio, pueda adquirir un alto grado de rigidización y fragilidad. Se debe establecer un límite máximo que controle esta rigidización, acentuada aún más por la presencia de altos contenidos de ceras.

La viscosidad a 60 °C, como parámetro reológico, también presenta variaciones importantes durante el tiempo de análisis evaluado (figura 6). Estas variaciones están directamente relacionadas con variaciones de los parámetros de producción en la refinería y se reflejará de manera directa en la intensidad de las distintas componentes de la rigidez: elástica y viscosa. Igualmente, contenidos altos de cera hacen que las viscosidades disminuyan en mayor o menor grado dependiendo del tipo y grado de cristalización, que a su vez dependerá de los crudos utilizados y/o proceso de obtención. El especificar un valor mínimo de este parámetro reológico, hace que la mezcla entre las temperaturas bajas y medias de servicio, pueda adquirir un alto grado de rigidización y fragilidad. Se debe establecer un límite máximo que controle esta rigidización, acentuada aún más por la presencia de altos contenidos de ceras.

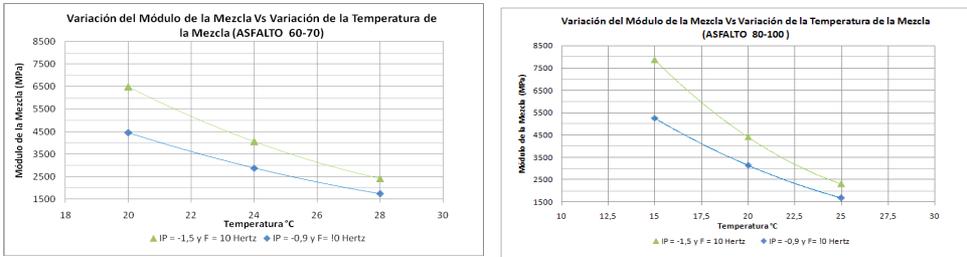


Figura 7. Influencia del cambio en la composición química del asfalto en la rigidez de las mezclas asfálticas.

La viscosidad es una medida reológica que depende de la estabilidad de los distintos grupos moleculares que lo conforman. Las moléculas se ven sometidas a diferentes tipos de fuerzas intermoleculares que hacen más fuerte o débil el sistema coloidal, generando mayores o menores cambios, manifestados en su forma de responder ante las diferentes solicitaciones externas: temperaturas de mezclado, cargas durante el proceso constructivo, clima, etc. Por lo tanto esta propiedad, es una respuesta de la composición química y estructuración molecular que dependerá en un alto grado de los crudos utilizados como carga en refinería y de los procesos para obtener el asfalto de manera directa o por mezclado con otros productos del mismo proceso. Por lo tanto, si controlamos este parámetro para que se mantenga en un rango de valores se estaría garantizando una menor variabilidad de los procesos y crudos en refinería.

En las figuras 6 y 7 se puede observar, como las variaciones de la susceptibilidad térmica del ligante, ocasionada por cambios en la composición química de asfalto por variabilidad en los procesos en el escenario de producción, influyen de manera directa en la rigidez de la mezcla asfáltica y ejes equivalentes que puede soportar en un periodo de análisis determinado. Estas variaciones son más sensibles a temperaturas entre bajas y medias de servicio.

## 6. Problemática actual en otros países

En los países vecinos el panorama no es tan diferente. La tendencia es cambiar sus especificaciones basadas en grados de penetración a grados de viscosidad incluyendo otras propiedades y ensayos de evaluación que permitan una mayor relación con las condiciones de servicio, basándose en los siguientes fundamentos:

- El ensayo de penetración es una medida de la consistencia de un cemento asfáltico a temperaturas medias de servicio (25 °C), siendo este un ensayo físico y empírico que muy posiblemente satisfizo los requerimientos de otra época en cuanto a solicitaciones y crudos disponibles. Las condiciones han cambiado.
- Las especificaciones actuales no tienen en cuenta los problemas relacionados con la variación de la viscosidad del ligante en amplios rangos, lo cual es indicativo de variaciones en los procesos de producción del asfalto en refinería.

- Estos cambios o fluctuaciones en los procesos en refinería se ven reflejados también en variaciones de la susceptibilidad térmica de las mezclas y su efecto en su comportamiento en servicio, ya que es imposible que el diseñador tenga en cuenta esta variabilidad en la etapa de evaluación estructural para determinar los espesores de las distintas capas.
- La viscosidad es una medida reológica que depende de la estabilidad de los distintos grupos moleculares que lo conforman.

## 7. Conclusiones

Existe una alta variabilidad y heterogeneidad de los asfaltos producidos en las refinerías colombianas debido a cambios en los crudos y/o procesos de obtención.

Los cambios o fluctuaciones en los procesos en refinería se ven reflejados en variaciones de la susceptibilidad térmica de las mezclas y su efecto en su comportamiento en servicio.

Desde hace muchos años las especificaciones se han basado en la medida de la penetración, como una medida de la consistencia de un cemento asfáltico a temperaturas medias de servicio (25 °C), siendo éste un ensayo físico y empírico que muy posiblemente satisfizo los requerimientos de otra época en cuanto a solicitudes y crudos disponibles.

La especificación por grado de penetración no puede regular, ni controlar, la variabilidad y heterogeneidad del producto en refinería.

Las especificaciones actuales no tienen en cuenta los problemas que pueden causar la variación de la viscosidad del ligante, lo cual es indicativo de variaciones en los procesos de producción del asfalto en refinería.

La tendencia de los países es cambiar sus especificaciones basadas en grados de penetración por nuevas especificaciones fundamentadas en grados de viscosidad, además de incluir nuevos parámetros reológicos que tengan mejor relación con su comportamiento en servicio.

La viscosidad como tal, a pesar de ser una medida reológica, no refleja por sí sola el carácter viscoelástico del asfalto a las temperaturas entre bajas y medias de servicio, por lo que es necesario complementarla con medida de la magnitud de las componentes viscosa y elástica. Es por eso que se recomienda iniciar con la recopilación de información sobre valores del factor de ahuellamiento y fisuramiento que tiene el asfalto, con el fin de poder ir involucrándolas dentro de las especificaciones, con unos valores propios del comportamiento del ligante bajo las condiciones locales.

Al exigir una viscosidad máxima a 135 °C, se está garantizando una alta susceptibilidad térmica del asfalto durante las operaciones de manejo, disminuyendo los riesgos de envejecimiento. De todas maneras, se debe acudir a la curva reológica para determinar las temperaturas óptimas de mezclado y compactación para el diseño de la mezcla, como control de posibles problemas de escurrimiento del asfalto por su alto grado de fluidez.

La composición química, la estructuración y asociaciones moleculares, se reflejan en las propiedades mecánicas del asfalto y mezclas asfálticas y en su comportamiento bajo condiciones reales de servicio. Controlando estas variables, mediante una producción homogénea en cuanto a procesos y materia prima (crudos), se minimizan las causas de los principales problemas de las mezclas asfálticas relacionadas con el ligante.

Los asfaltos producidos por reducción directa muy seguramente, no tendrán problemas para cumplir con el contenido de ceras especificado, ya que el gasóleo hace parte de los componentes naturales y por lo tanto, se encontraría formando parte de su estructura coloidal.

Es necesario desarrollar investigaciones interinstitucionales, que tengan como finalidad el fundamentar unas especificaciones de ligantes bituminosos y mezclas asfálticas, mas acordes a nuestro medio, partiendo de los estudios que sobre el tema han realizado otros países con problemática similar.

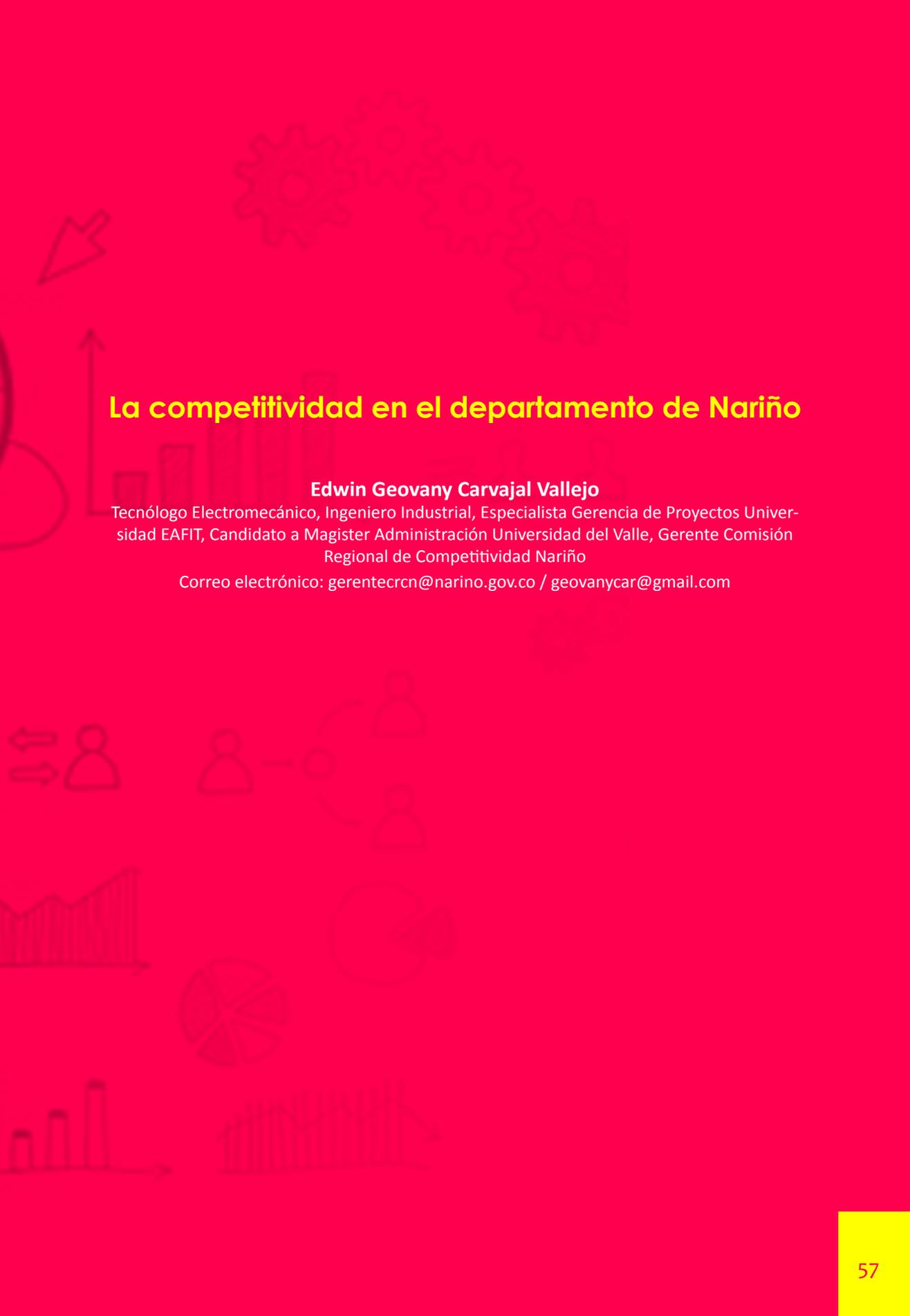
Con el inicio de un proceso de control sobre la variabilidad del asfalto que produce ECOPEtrol, mediante la aplicación de las modificaciones en las dietas de crudos y mejoras en los procesos de destilación se ha logrado estabilizar las propiedades de los asfaltos y aumentar la calidad de las mezclas asfálticas.

Las causales de un mal comportamiento de la mezcla asfáltica no solo involucran al asfalto, hay muchas otras causas que tienen que ver con el control de calidad, diseño de la mezcla, problemas constructivos, propiedades del agregado, entre muchos otros.

Las características del ligante a utilizar en una mezcla asfáltica están íntimamente ligadas a las propiedades de la misma, por lo tanto, las especificaciones del cemento asfáltico deben estar en concordancia con las especificaciones exigidas a las mezclas asfálticas y a los agregados pétreos utilizados para su elaboración. Si se adopta una nueva especificación para los cementos asfálticos es necesario revisar las especificaciones que se tienen sobre las mezclas asfálticas densas en caliente.







## La competitividad en el departamento de Nariño

**Edwin Geovany Carvajal Vallejo**

Tecnólogo Electromecánico, Ingeniero Industrial, Especialista Gerencia de Proyectos Universidad EAFIT, Candidato a Magíster Administración Universidad del Valle, Gerente Comisión Regional de Competitividad Nariño

Correo electrónico: [gerentecrcn@narino.gov.co](mailto:gerentecrcn@narino.gov.co) / [geovanycar@gmail.com](mailto:geovanycar@gmail.com)

La competitividad puede ser entendida como el conjunto de instituciones Públicas, Privadas, políticas y factores que determinan el nivel de productividad y el nivel de prosperidad que se puede generar por una economía; al Estado le compete generar un entorno adecuado para los negocios buscando siempre un bienestar económico y mejorar la calidad de vida de sus habitantes, pero son los productores y empresarios los que son competitivos, para permanecer en el mercado.

Los actores principales que deben estar presentes para mejorar la competitividad son: los gobiernos, los empresarios, el sector educativo y la sociedad civil.



Figura 1. Competitividad.

Colombia actualmete en el quinto lugar según el índice global de competitividad, para lograr su objetivo, ser uno de los tres países más innovadores y competitivos de Latinoamérica en el año 2032, cuenta con el Consejo Privado de Competitividad (CPC), organismo sin ánimo de lucro, cuyo objeto es impulsar y apoyar políticas y estrategias que permitan mejorar la competitividad y las políticas públicas relacionadas; por otra parte, tenemos el Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCCTel), creado por el Decreto 2828 por recomendaciones del CONPES 3439 de 2006, que es el conjunto de leyes, políticas y estrategias, que implica la gestión de recursos humanos, materiales y financieros de las diferentes entidades, públicas y privadas encaminadas a tomar acciones relacionadas con la política de competitividad, productividad e innovación, contamos además con 32 Comisiones Regionales de Competitividad que son encargadas de coordinar y articular, al interior del departamento, la implementación de las políticas de desarrollo productivo, de competitividad y productividad, del fortalecimiento de la micro, pequeña y mediana empresa; y del fomento de la cultura del emprendimiento, apoyadas en el plan de desarrollo nacional 2014 – 2018 “Todos por un Nuevo País”, donde en el artículo 186 se fortalece las comisiones regionales de competitividad, siendo el ente articulador del CODECTI, redes de emprendimiento, Consejos Mipymes.

Para poder mejorar debemos compararnos y determinar cómo estamos, por tal razón, revisaremos algunos indicadores; a nivel internacional tenemos indicadores que miden la competitividad e innovación del país algunos de ellos son:

- **Foro Económico Mundial (WEF):** institución internacional que busca mejorar el bienestar mundial mediante la inversión y la cooperación público privada, reuniendo a los principales líderes políticos, empresarios, académico y sociales buscando definir retos, soluciones y acciones para generar una agenda global, regional e industrial.

Quienes publican anualmente el Reporte Global de Competitividad (RGC) y uno de sus principales indicadores es, el índice global de competitividad (IGC).

- **Centro de Competitividad Mundial** (IIMD International Institute for Management Development), publica anualmente “Informe de Competitividad Mundial” que cubría 32 países, 22 de la OCDE y 10 economías recientemente industrializadas, determina la posición de los países en el ranking mundial.
- **Grupo del Banco Mundial (World Bank Group):** quienes presentan el Índice de Factibilidad para hacer negocios (Doing Business Index) nos presenta una medición de las diferentes normas de regulación de la actividad empresarial y la facilidad de crear empresas y poner en operación, obtención de créditos, protección a los inversores.

La evaluación la realizan teniendo en cuenta unos pilares transversales tales como: instituciones, infraestructura, ambiente macroeconómico, salud, educación básica, superior y capacitación, Eficiencia de mercados de bienes, eficiencia de mercado laboral, desarrollo de mercados financieros, preparación tecnológica, tamaño de mercados, sofisticación de los negocios e innovación.

- **Índice Global de Innovación (GII Global Innovation Index):** se publica anualmente, clasifica a los países y economías por la pertinencia de su entorno a la innovación, reconociendo a este como un motor de crecimiento y prosperidad económica.

Situación actual de nuestro país a nivel de competitividad e innovación:

Tabla 1. *Situación actual colombiana*

Nombre Indicador	Organización Que evalúa	No total de Países	Posición de Colombia	Top 5 Global	Top 5 Latinoamérica
Índice de Competitividad Global	Foro Económico Mundial	140	61	Suiza, Singapur, Estados Unidos, Alemania, Países Bajos	Chile, Panamá, Costa Rica, México, Colombia
Anuario Mundial de Competitividad	Instituto Internacional para el Desarrollo Gerencial	61	51	Estados Unidos, China, Hong Kong, Singapur, Suiza, Canadá	Chile, México, Colombia, Perú, Brasil
Índice de Facilidad para Hacer negocios	Grupo del Banco Mundial	189	54	Singapur, Nueva Zelanda, Dinamarca, República de Corea y China, Hong Kong	México, Chile, Perú, Colombia, Costa Rica.

Índice Global de Innovación	Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, Universidad de Cornell y Escuela de negocios INSEAD	141	67	Suiza, Reino Unido, Suecia, Holanda, Estados Unidos	Chile, Costa Rica, México, Panamá, Colombia.
-----------------------------	---	-----	----	---	--

Lo que podemos encontrar en común de los países que se encuentran en los cinco primeros lugares en competitividad e innovación a nivel mundial es que todos tienen una inversión en I+D+I mayor al 2% del PIB, inversión en infraestructura de investigación, alta inversión del sector privado en investigación, inversión en los fondos para la investigación industrial, investigación orientada al mercado, fortalecimiento de las economías nacionales, articulación entre centros de investigación, universidades y empresas, más del 50% de los investigadores están en el sector privado, seguido por las universidades y el sector público.

Para la medición de la competitividad a nivel nacional tenemos el Índice Departamental de Competitividad, construido por el Consejo Privado de Competitividad y el Centro de Pensamiento en Estrategias Competitivas de la Universidad del Rosario, teniendo como objetivo medir de manera robusta aspectos que inciden sobre el nivel de competitividad de los departamentos de Colombia.

### Estructura del índice departamental de competitividad

La evaluación del IDC, se realiza teniendo en cuenta tres factores; primero, condiciones básicas compuesto por 6 pilares instituciones, infraestructura, tamaño de mercado, educación básica y media, salud y medio ambiente; segundo, eficiencia tiene dos factores asociados: educación superior y capacitación y eficiencia de los mercados, y en tercer lugar, el factor sofisticación e innovación, compuesto por los factores sofisticación y diversificación y dinámica empresarial.



Figura 1. Estructura del Índice Departamental de Competitividad 2015.

Fuente: Consejo Privado de Competitividad & CEPEC - Universidad del Rosario en WEF (2013).

El número de departamentos evaluados es de 24 y la ciudad de Bogotá. La clasificación en etapas está dada de acuerdo a su nivel de desarrollo, etapa 1 departamentos con

bajo desarrollo, etapa dos, 4 departamentos con nivel de desarrollo alto y de acuerdo a esto se da una importancia relativa a los factores y pilares.

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Nariño Sucre Caquetá Chocó Córdoba	Cesar La Guajira Meta Putumayo	Caldas Cauca Huila Magdalena Norte de Santander Quindío Risaralda Tolima	Antioquia Atlántico Bogotá, D.C. Bolívar Boyacá Cundinamarca Santander Valle del Cauca

Figura 2. Clasificación de los departamentos por etapa de desarrollo.

Fuente: Consejo Privado de Competitividad & CEPEC - Universidad del Rosario.

A continuación miraremos el porcentaje del peso de cada uno de los factores dependiendo de la etapa de desarrollo que el departamento se encuentre.

	Etapas de desarrollo			
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Factor condiciones básicas	60%	50%	40%	30%
Factor eficiencia	35%	40%	45%	50%
Factor sofisticación e innovación	5%	10%	15%	20%

Figura 3. Ponderaciones de los factores del IDC 2015 por etapa de desarrollo.

Fuente: Consejo Privado de Competitividad & CEPEC - Universidad del Rosario.

Presentación de los resultados para Nariño.

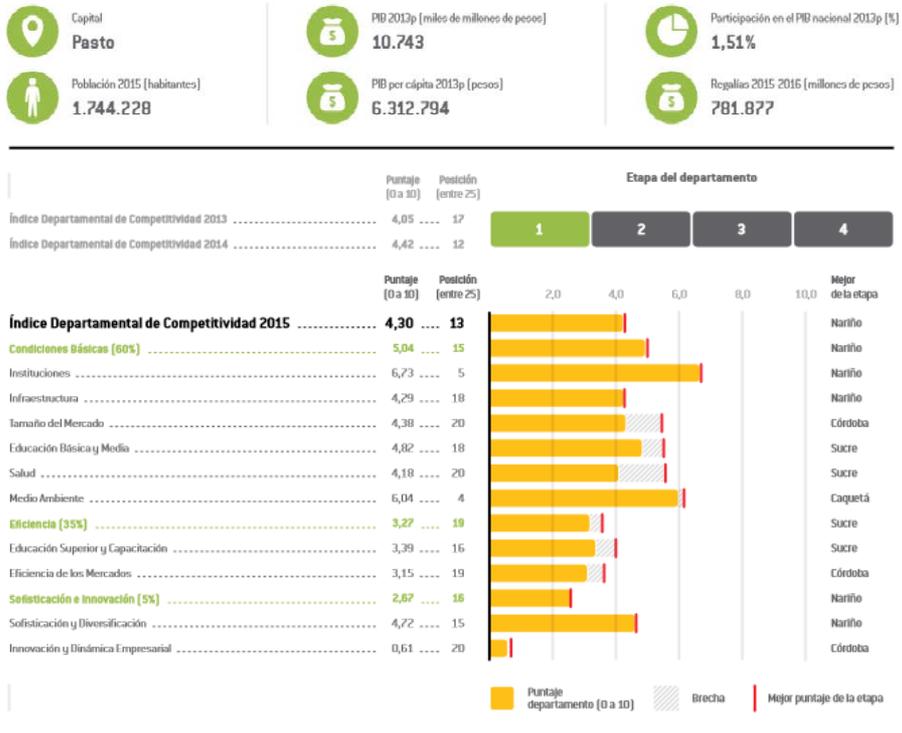


Figura 4. Resultados para Nariño.

Evaluación de los pilares para los años 2013, 2014 y 2015

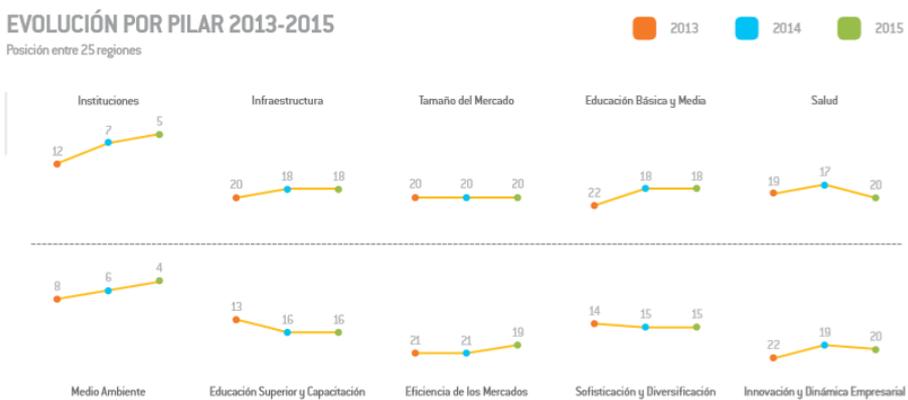


Figura 5. Evolución por pilar 2013-2015.

En la siguiente Figura se presenta el comportamiento del departamento de Nariño con respecto a los departamentos de etapa 1 y en los tres años de evaluación del IDC.

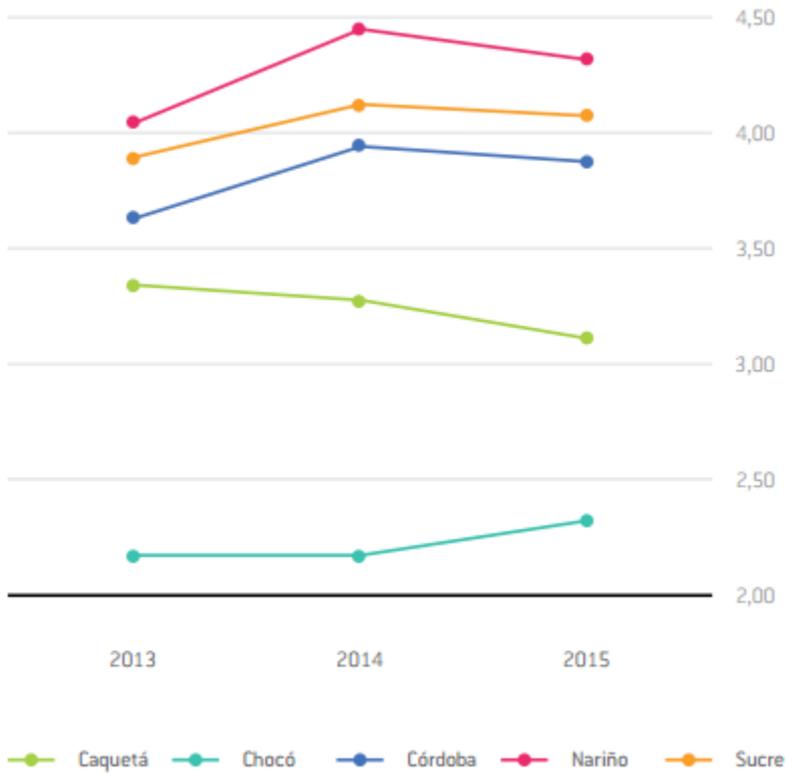


Figura 6. Evaluación del IDC.

Fuente: Consejo Privado de Competitividad & CEPEC - Universidad del Rosario.

Si bien Nariño ocupa el primer lugar de este grupo y presenta un crecimiento en los tres años de evaluación con un promedio de 3,1%, se evidencia que hay mucho por fortalecer, por lo cual a continuación se revisaran los diferentes factores y pilares de evaluación.

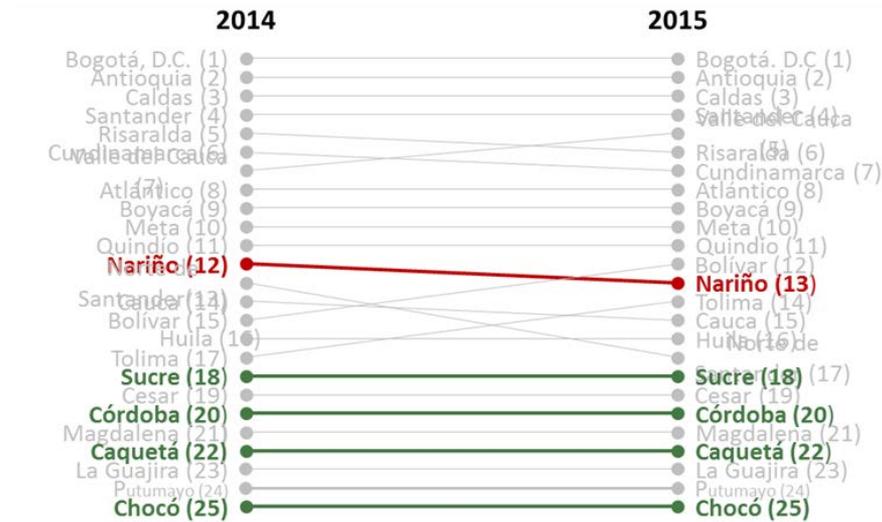


Figura 7. Medición Nariño.

Nariño respecto al año pasado 2014, perdió un puesto pasando del 12 al puesto 13.

Clasificación General y Por Factores.

Tabla 2. Clasificación

	IDC 2015		FACTORES					
			Condiciones básicas		Eficiencia		Sofisticación e innovación	
	Puntaje (0-10)	Posición (entre 25)	Puntaje (0-10)	Posición (entre 25)	Puntaje (0-10)	Posición (entre 25)	Puntaje (0-10)	Posición (entre 25)
Bogotá, D.C.	8,13	1	6,99	1	8,21	1	9,61	1
Antioquia	6,55	2	6,97	2	6,10	3	7,06	2
Caldas	6,06	3	5,83	9	6,53	2	5,26	6
Santander	5,86	4	6,63	3	5,77	4	4,96	7
Valle del Cauca	5,44	5	5,93	5	4,95	7	5,95	3
Risaralda	5,44	6	5,89	8	5,28	5	4,71	8
Cundinamarca	5,38	7	5,94	4	4,93	8	5,67	4
Atlántico	5,26	8	5,91	6	4,76	9	5,54	5
Boyacá	5,02	9	5,90	7	5,26	6	3,10	13
Meta	4,72	10	5,83	10	3,87	13	2,59	17
Quindío	4,64	11	5,67	12	4,30	10	2,87	15
Bolívar	4,40	12	5,03	16	4,01	12	4,41	9
Nariño	4,30	13	5,04	15	3,27	19	2,67	16
Tolima	4,26	14	5,23	14	3,83	14	3,00	14

Encontramos que Bogotá es la primera en el IDC 2015, en los tres factores con un puntaje promedio de 8,13 sobre 10, a Nariño lo encontramos en el puesto 13 entre

25 con un puntaje de 4,3 sobre 10, mostrando un bajo nivel de competitividad, en el factor de condiciones básicas en el puesto 15 con un puntaje 5,04, factor eficiencia puesto 19 con un puntaje de 3,27 y en el factor de sofisticación e innovación puesto 16 con un puntaje de 2,67 el más bajo de la medición.

A continuación analizaremos cada uno de los pilares, miraremos la posición que ocupa Nariño, para luego hacer un análisis de los factores más críticos.

Primer Factor: Condiciones Básicas.

Tabla 3. Clasificación primer factor

	Condiciones básicas		PILARES											
			Instituciones		Infraestructura		Tamaño del mercado		Educación básica y media		Salud		Medio ambiente	
	Puntaje [0-10]	Posición (entre 25)	Puntaje [0-10]	Posición (entre 25)	Puntaje [0-10]	Posición (entre 25)	Puntaje [0-10]	Posición (entre 25)	Puntaje [0-10]	Posición (entre 25)	Puntaje [0-10]	Posición (entre 25)	Puntaje [0-10]	Posición (entre 25)
Bogotá, D.C.	6,99	1	4,82	16	8,41	1	9,75	1	6,07	7	8,14	1	5,31	8
Antioquia	6,97	2	7,17	2	7,03	3	9,01	2	6,20	5	6,57	2	6,78	1
Santander	6,63	3	6,56	7	6,19	7	7,58	5	7,63	1	6,33	3	5,27	9
Cundinamarca	5,94	4	6,90	4	5,51	10	7,48	6	6,35	4	4,88	17	4,64	14
Valle del Cauca	5,93	5	5,84	12	6,27	6	8,24	3	4,89	17	6,07	5	4,92	11
Atlántico	5,91	6	6,19	9	6,41	5	7,01	8	5,13	15	6,26	4	4,10	19
Boyacá	5,90	7	6,61	6	4,87	14	5,86	9	7,31	2	5,30	14	4,91	12
Risaralda	5,89	8	6,93	3	7,10	2	5,36	14	5,14	14	5,30	15	4,57	15
Calles	5,83	9	5,88	11	6,50	4	5,38	13	5,54	10	5,65	7	5,58	6
Meta	5,83	10	5,50	15	4,70	15	7,64	4	6,07	6	6,01	6	6,06	3
Hulla	5,74	11	6,16	10	5,18	11	5,48	11	6,69	3	5,57	8	4,70	13
Quindío	5,67	12	7,60	1	6,09	8	4,18	21	5,02	16	5,32	13	4,48	16
Norte de Santander	5,49	13	5,74	13	4,88	12	5,05	19	5,91	8	5,44	10	5,93	5
Tolima	5,23	14	6,55	8	4,87	13	5,28	15	5,80	9	4,68	18	3,24	25
Nariño	5,04	15	6,73	5	4,29	18	4,38	20	4,82	18	4,18	20	6,04	4
Bolívar	5,03	16	4,39	21	5,69	9	7,23	7	4,19	21	5,43	11	3,65	21
Cesar	4,87	17	4,56	20	4,49	17	5,77	10	5,41	12	5,29	16	3,44	24

**Educación Básica y Media:** analizando el factor condiciones básicas encontramos a Nariño en la posición 18, detrás de Sucre y Córdoba; la cobertura neta en educación primaria en Nariño es 20% inferior a la de Sucre, que es el departamento que presenta el mejor desempeño en el país, en Nariño 6 de cada 10 niños en edad preescolar no asisten a este nivel de educación, aunque Nariño es el mejor del grupo en el desempeño de pruebas saber 5, nos encontramos atrás de varios departamentos. En cuanto a salud, la cobertura en Nariño llega al 80% detrás de Sucre, que es el primero en el país.

Segundo Factor, Eficiencia.

Tabla 4. Clasificación segundo factor

	Eficiencia		PILARES			
			Educación superior y capacitación		Eficiencia de los mercados	
	Puntaje (0-10)	Posición (entre 25)	Puntaje (0-10)	Posición (entre 25)	Puntaje (0-10)	Posición (entre 25)
Bogotá, D.C.	8,21	1	8,26	1	8,16	1
Caldas	6,53	2	7,74	2	5,33	3
Antioquia	6,10	3	6,60	3	5,60	2
Santander	5,77	4	6,35	4	5,18	4
Risaralda	5,28	5	5,98	7	4,57	7
Bogotá	5,26	6	6,07	5	4,44	8
Valle del Cauca	4,95	7	6,07	6	3,83	16
Cundinamarca	4,93	8	4,97	10	4,89	5
Atlántico	4,76	9	5,19	9	4,34	9
Quindío	4,30	10	4,31	11	4,29	10
Cauca	4,11	11	5,30	8	2,92	22
Bolívar	4,01	12	4,22	12	3,81	17
Meta	3,87	13	3,62	14	4,12	11
Tolima	3,83	14	2,79	18	4,86	6
Sucre	3,56	15	4,00	13	3,12	20
Huila	3,49	16	3,15	17	3,83	15
Norte de Santander	3,28	17	3,50	15	3,05	21
Cesar	3,28	18	2,54	22	4,01	12
Nariño	3,27	19	3,39	16	3,15	19
Magdalena	3,24	20	2,63	20	3,86	14
La Guajira	3,17	21	2,33	23	4,01	13
Córdoba	3,14	22	2,63	19	3,66	18

Aunque Nariño pasó del puesto 21 al 19 en eficiencia de mercados, se percibe mucho por mejorar, sobre todo en la eficiencia de mercado de bienes, en especial en la apertura comercial y del mercado laboral en la generación de empleo y en la calidad del mismo.

Tercer Factor, Sofisticación e Innovación

Tabla 5. Clasificación tercer factor

	Sofisticación e Innovación		PILARES			
			Sofisticación y diversificación		Innovación y dinámica empresarial	
	Puntaje [0-10]	Posición [entre 25]	Puntaje [0-10]	Posición [entre 25]	Puntaje [0-10]	Posición [entre 25]
Bogotá, D.C.	9,61	1	9,84	1	9,38	1
Antioquia	7,06	2	8,68	2	5,43	2
Valle del Cauca	5,95	3	8,22	3	3,69	4
Cundinamarca	5,67	4	7,65	5	3,68	5
Atlántico	5,54	5	7,94	4	3,15	8
Caldas	5,26	6	6,25	9	4,26	3
Santander	4,96	7	6,26	8	3,66	6
Risaralda	4,71	8	5,96	11	3,45	7
Bolívar	4,41	9	7,00	6	1,83	10
Cauca	3,76	10	6,52	7	1,00	15
Norte de Santander	3,48	11	6,11	10	0,85	17
Magdalena	3,32	12	5,29	12	1,35	12
Boyacá	3,10	13	5,10	13	1,10	13
Tolima	3,00	14	4,99	14	1,00	14
Quindío	2,87	15	3,66	19	2,08	9
Nariño	2,67	16	4,72	15	0,61	20
Meta	2,59	17	3,66	18	1,52	11
Sucre	2,47	18	4,36	16	0,57	21

En el pilar de innovación y dinámica empresarial Nariño perdió una posición respecto al año pasado pasando de la posición 19 a la 20 detrás de Córdoba. En investigación Nariño se encuentra en el puesto 20, no cuenta con un grupo de investigación de alta calidad y en dinámica empresarial en el 21, demostrando que la tasa de natalidad empresarial neta es de tres empresas por cada 100.000 habitantes, lo que preocupa por estar en los últimos lugares.

En general es muy preocupante el rezago que tiene el departamento en el tema de competitividad y productividad, ya que este es el determinante principal del crecimiento económico de una región.

Si bien en el país estamos en los primeros lugares de productividad de algunos sectores agrícolas como en el de la papa, lácteos, panela, aceite de palma, cacao, cafés especiales; a nivel latinoamericano y mundial no es lo mismo; el escaso nivel de sofisticación y de transformación del aparato productivo llevan a este resultado.

El bajo nivel de sofisticación se ve reflejado en la escasa variedad de la canasta exportadora de nuestro departamento, la cual se ve concentrada en productos primarios o recursos naturales.

Mejorar la productividad y la competitividad debe ser un reto para todos, la inversión nacional será mínima en los próximos años, dado el déficit fiscal por la caída de los precios de los commodities minero energéticos; la devaluación del peso debe ser una oportunidad para el cierre del déficit comercial, la competitividad es local se da en las regiones y en los empresarios, por lo tanto, debemos gestarla desde lo local, todos somos responsables para cerrar las brechas en esta materia.

## Conclusiones

- Diseñar una visión a largo plazo enfocada a sectores con oportunidades claras.
- Existe la necesidad de asegurar un desarrollo social, sostenible y económico.
- Involucrar de inmediato al sector empresarial y privado en la investigación e innovación.
- Se necesita una verdadera articulación de los actores, una decisión de las empresas por hacer las cosas, tener claro que la innovación es el motor de la competitividad.
- Hacen falta empresas más sofisticadas e innovadoras.
- Escasa formación de empresarios en innovación.
- Acceso a beneficios tributarios que incentiven la innovación.





# Biorrefinerías: una alternativa verde para el futuro

**Jesús David Coral Medina**

Doctorado Ingeniería de Bioprocesos y Biotecnología  
Maestría en Ingeniería, énfasis ingeniería química  
Ingeniero Químico

## Resumen

El consumo de combustibles fósiles y el consumo de energías renovables. Dentro de las alternativas de fuentes renovables de energía se destacan la biomasa como una fuente promisoría de biocombustibles líquidos, gaseosos, precursores químicos y energía. Por lo tanto, en este documento se presenta un panorama general de la utilización de la biomasa dentro del concepto de biorrefinería y química verde. La composición de la biomasa juega un papel fundamental para llevar a cabo la transformación de material lignocelulósico en productos de valor agregado, ya que esta incide directamente en el tipo de pretratamiento a ser usado y en la eficiencia del mismo. Se presentan a demás, brevemente las técnicas de pretratamiento más usadas y reexportadas en la literatura. Finalmente, a partir de reportes de agencias internacionales, se presentan las moléculas con mayor potencial tecno-económico para substituir los procesos convencionales petroquímicos y así reducir la dependencia de combustibles fósiles.

**Palabras clave:** Biorrefinerías: Material lignocelulósico; energías renovables, química verde.

## 1. Introducción

En las recientes décadas, el consumo y producción de combustibles a partir de fuentes no renovables, como carbón, gas natural y petróleo, han alcanzado niveles nunca antes registrados. En 2013, el consumo mundial fue de 91.253 barriles de petróleo por día, aproximadamente mil barriles más por día que en 2012 [1]. Existen evidencias claras que las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, se han incrementado a causa de la quema desmedida de combustibles de origen fósil, y el manejo inadecuado de la tierra para plantaciones y ganado. Se espera que para 2030, la demanda de energía y las emisiones de GEI, provenientes de la industria del transporte, sean 80% mayores que los niveles actuales [2].

Actualmente, aproximadamente el 20% del consumo global de energía (12,159 MTE) proviene de fuentes renovables, destacándose la energía nuclear, hídrica, biomasa y solar. La transformación de biomasa en biocombustibles es probablemente el sector de las energías renovables con mayor desarrollo tecnológico (sin contar la energía hídrica y su transformación a energía eléctrica). Estados Unidos y Brasil son líderes en producción de etanol de primera generación a partir de maíz y caña de azúcar respectivamente, y se espera que la instalación de plantas productoras de etanol de segunda generación se lleve a cabo en los próximos 10 a 15 años [3].

La biomasa, también llamada material lignocelulósico, por sus constituyentes, celulosa, hemicelulosa y lignina, ha llamado la atención de comunidades académicas e industriales, debido a su gran potencial como materia prima de electricidad, calor, combustibles líquidos, ácidos orgánicos, polímeros, entre otros. Dentro de los residuos lignocelulósicos que más se destacan por su poder energético y disponibilidad, están los residuos de *Eucalyptus*, cascarilla de arroz, racimos vacíos de palma y bagazo de caña [4].

Para llevar a cabo la transformación de material lignocelulósico en productos de valor agregado, se requieren unidades de procesamiento donde se genera energía, calor, combustibles y químicos de valor agregado, las cuales usualmente son denominadas biorrefinerías, por la analogía a las unidades en las cuales se procesa el petróleo [5].

A partir de las potencialidades de la biomasa y del concepto de biorrefinería, en este trabajo se presentará un panorama general sobre la transformación química de material lignocelulósico en productos de valor agregado.

## 2. Definición de Biomasa y materia lignocelulósico

La biomasa puede ser definida como material biológico, plantas, árboles, residuos agroindustriales, los cuales contienen en su estructura moléculas de carbono, hidrógeno y oxígeno, que pueden ser fuente de energía [6]. La biomasa también puede ser considerada como materia lignocelulósica, son embargo, esta denominación se la atribuye principalmente a residuos agroindustriales, que tienen como sus principales constituyentes la celulosa, hemicelulosa y lignina, con pequeñas cantidades de pectinas, ácidos grasos, carotenoides y minerales entre otros [7].

### 3. Composición material lignocelulósico

La composición del material lignocelulósico, en términos de celulosa, hemicelulosa y lignina juega un papel fundamental en la transformación hacia productos de valor agregado. Los porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina, varían dentro del mismo tipo de biomasa, factores como el tiempo de colecta, condiciones de almacenamiento, edad de la biomasa y tipo de método de caracterización, influyen directamente la composición másica [8]. En la Tabla 1 se presenta la composición algunos de los materiales lignocelulósicos más usados en la producción de bioetanol.

Tabla 1. Composición química en base seca de material lignocelulósico

Biomasa	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Referencia
Softwood	28	42.68	32.5	[9]
Hardwood	32.26	45.85	21.89	[10]
Paja de arroz	43.40	28.00	17.20	[11]
Bagazo de caña	43.10	25.20	22.90	[12]
Eucalyptus	42.6	15.4	32.7	[13]
Bagazo de palma	30.5	19.5	33.34	[14]

### 4. Pretratamiento

El pretratamiento es una etapa fundamental en la transformación de biomasa en productos de valor agregado. Este proceso consiste de una o más etapas con el fin de alterar la estructura de la biomasa, incrementando la accesibilidad de la celulosa, liberando los componentes de la hemicelulosa y fraccionando la lignina. En la Figura 1 se presenta un esquema de reacción de hidrólisis de la biomasa.

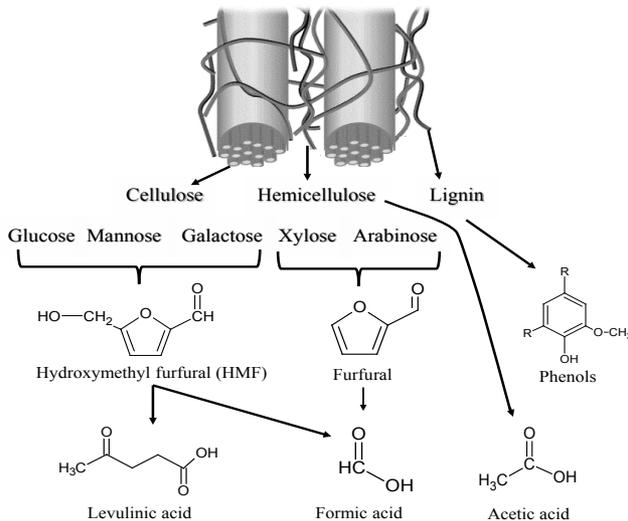


Figura 1. Hidrólisis de biomasa y formación de compuestos inhibidores.

Como se puede ver en la Figura 1, la hidrólisis de la celulosa y de los componentes de la hemicelulosa, generan azúcares monoméricos, los cuales son el objetivo dentro de las biorrefinerías, ya que a partir de ellos, se puede obtener productos de valor agregado, vía química, termo-química o biológica. Sin embargo, la hidrólisis de la biomasa y formación de monosacáridos, es una reacción en serie, que dependiendo de las condiciones y tipo de pretratamiento, podría degradar los monosacáridos, formando ácidos orgánicos como el ácido fórmico, ácido levulinico, furfural e 5-hidroxi-metil-furfural [15].

Los pretratamientos pueden ser clasificados como convencionales y no-convencionales. Dentro de los tratamientos convencionales están los químicos, térmicos y termoquímicos, siendo los más destacados la explosión a vapor, agua caliente, explosión con amonio (AFEX), oxidación alcalina, hidrólisis ácida y extracción con solvente. Como no convencionales están los tratamientos con líquidos iónicos, micro-ondas, irradiación con rayos gamma y ultrasonido. Los pretratamientos biológicos usando hongos filamentosos e hongos de podredumbre de la madera pueden ser considerados como convencionales, en los cuales la degradación del material lignoceluloso es realizada por la acción de enzimas peroxidadas y lacasas producidas por estos hongos [16,17].

Desde el punto de vista de un proceso químico, la biomasa puede ser sometida a uno o varios tipos de pretratamiento, por lo tanto, estos deben cumplir las siguientes características.

- Bajo costo de inversión y operación.
- Tamaños de reactor moderados.
- Ser flexible y eficiente con diferentes tipos de biomasa.
- Bajos tiempos de reacción.
- Baja carga de catalizador.
- Incrementar por lo menos un 75% la digestibilidad de la celulosa.
- Producir elevada concentración de monosacáridos en la etapa de hidrólisis.
- No alterar considerablemente la estructura de la lignina.

La comparación de la eficiencia de los diferentes tipos de pretratamiento es usualmente llevada a cabo en función de la concentración de los azúcares liberados y de la digestibilidad enzimática de la biomasa pretratada, sin embargo, estas comparaciones son un poco ambiguas, ya que el éxito de un pretratamiento depende fuertemente de variables como: composición másica, tipo de lignina en la biomasa, porcentaje de grupo acetilo en la biomasa, humedad de constitución en el material, tipo de biomasa, época de colecta, almacenamiento del material lignoceluloso. La influencia de estas variables que en general no pueden ser controladas por una empresa de transformación química, ya que son propias de la materia prima (biomasa) ha sido el “cuello de botella” para que los procesos de transformación de material lignoceluloso en productos como biocombustibles, químicos y ácidos orgánicos sean difíciles de implementar.

#### 4. Biorrefinerías basadas en material lignocelulósico (sin competencia alimentaria)

Recientemente la sociedad y los países desarrollados, han reconocido las oportunidades que ofrecen los procesos autosostenibles, basados en fuentes renovables. Por lo tanto, diferentes programas de investigación y desarrollo como por ejemplo: Euro lignin o Europabio, han sido lanzados con el fin de desarrollar procesos químicos a partir de biomasa, con el fin de reducir la dependencia del petróleo [18].

Las biorrefinerías basadas en material lignocelulósico son atractivas porque se generan productos a partir de residuos agroindustriales como cascara de arroz, bagazo de caña, bagazo de palma, paja de trigo, paja de maíz, entre otros, por lo tanto, no amenaza la seguridad alimentaria de una región.

#### Etanol celulósico (Etanol de primera generación)

En el mundo la producción de etanol vía fermentativa a partir de biomasa rica en “azúcares” es una tecnología bien establecida. Los principales productores de etanol en son Estados Unidos, Brasil y China, los cuales usan maíz, caña y sorgo respectivamente para su producción; en la Figura 2, se presenta las cifras de producción de los países más importantes [19].

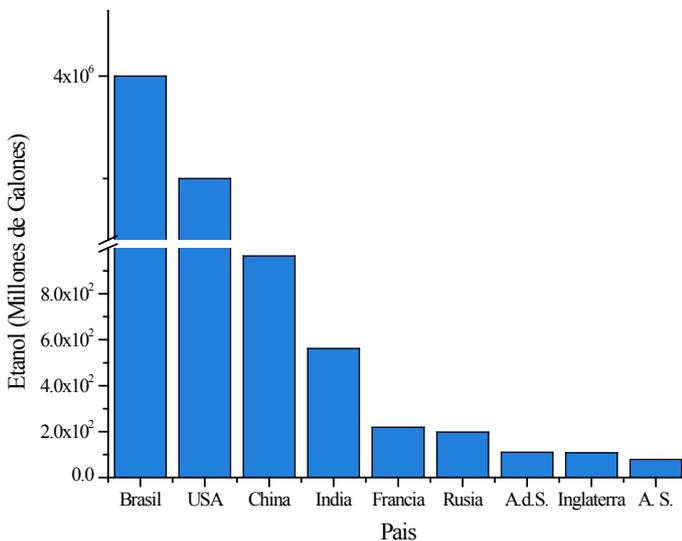


Figura 2. Principales países productores de etanol celulósico. A.d.S: África del Sur. A. S: Arabia Saudita.

Como se puede ver en la Figura 2, Estados Unidos y Brasil producen más del 70% de todo el etanol en el mundo.

#### Biocombustibles de segunda generación

Contrario a los combustibles de primera generación, donde se utiliza biomasa con fines alimenticios, como cereales, granos, semillas y frutos, los biocombustibles de

segunda generación son producidos a partir de residuos y representan un uso integral de la biomasa, ya que se puede aprovechar cada uno de los residuos generados en las etapas de pretratamiento [20].

El aprovechamiento integral de la biomasa consiste en darle buen uso a los residuos agroindustriales, y dentro de su buen uso, está la utilización de cada una de las fracciones de la biomasa, es decir, de la celulosa, hemicelulosa y lignina. En la Figura 3 se resume el concepto de Biorrefinería a partir de material lignoceluloso.

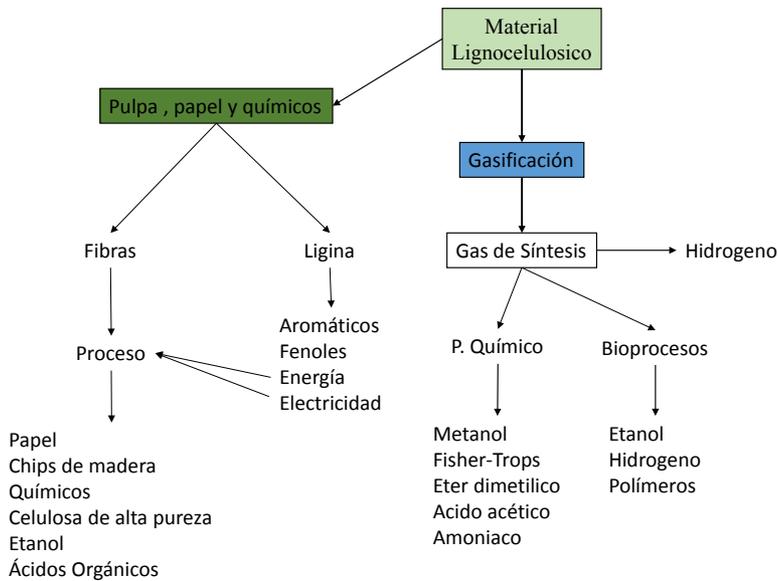


Figura 3. Diagrama conceptual de biorrefinerías.

Fuente: adaptado de Gail Taylor (2008) [21].

### Productos del biorrefinamiento

Los productos de una biorrefinería pueden ser agrupados en dos grandes categorías: productos materiales y productos energéticos. Los productos energéticos son aquellos que debido a su elevado poder de combustión, pueden ser usados directamente para generar energía, calor o servicios de transporte. Los más importantes productos energéticos de una biorrefinería son:

- Biocombustibles gaseosos (gas de síntesis, biogás, hidrogeno y metano).
- Biocombustibles sólidos (lignina, carbón coque, pellets de biomasa).
- Biocombustibles líquidos (bioetanol, biodiesel, combustibles Fisher-Trops, y biogasolina).

Por otra parte, los productos materiales son aquellos que no son usados para fines energéticos, pero que pueden servir de plataforma química para subsecuentes transformaciones o pueden ser comercializados directamente, ampliando la oferta

de productos a partir de la transformación de biomasa y reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles [18]. Los 14 productos químicos más promisorios a partir de un biorrefinamiento de biomasa fueron seleccionados de 30 posibles moléculas por el laboratorio de energías renovables (NREL), por su nombre en Inglés (National Renewable Energy Laboratory). A continuación se enlistan estos compuestos:

1. Glicerol.
2. Ácido 3-hidroxi propiónico.
3. Ácido L-aspartico.
4. Ácido Fumárico.
5. Ácido L-malico.
6. Ácido succínico.
7. Ácido L-glutamico.
8. Ácido levulinico.
9. Ácido itacónico.
10. Ácido glucarico.
11. Ácido 2,5 furano-di-carboxílico.
12. Xilitol.
13. Sorbiol.
14. 3-hidroxi butirolactona.

A partir de los productos mencionados anteriormente, se establece que para que un proceso sea amigable con el ambiente y químicamente verde, es necesario aprovechar cada una de las fracciones de la biomasa, a través de principios de manufactura que eliminen o minimicen la generación de residuos, el desperdicio de químicos y se maximice el concepto de producción más limpia.

### **Ejemplos de biorrefinerías en el mundo**

A partir del concepto de biorrefinería y de química verde se han venido transformando procesos convencionales de pulpa y papel en biorrefinerías, por ejemplo, la empresa Polynol, desarrolló un convenio entre la Agencia Suecia de Energía y Brasil, con el fin de implementar un proceso de producción de polímeros, etanol celulósico y químicos, a partir de biomasa. A partir de este estudio se determinó la viabilidad económica para producir polietileno, lignina sulfonada, etanol, ácido láctico y electricidad a partir de bagazo de caña.

Otro caso de interés, es la empresa Borregard de Suiza, en la cual se producía clásicamente pulpa de papel a partir de maderas, sin embargo, adoptando los principios de la química verde y el concepto de biorrefinería, en la actualidad a partir de 1 tonelada de madera, producen 50 kg de etanol, 3 kg de vainilla, 400 kg de lignina y 400 kg de celulosa de alta pureza.

Infelizmente en Colombia aún estamos en “crudos” en términos de generación de energía a partir de fuentes renovables, ya que sólo dependemos de la energía hídrica y de los combustibles fósiles, por lo tanto, es necesario mejorar nuestras políticas de generación de biogás, biocombustibles y químicos a partir de biomasa vegetal, ya que contamos con un potencial enorme.

## 5. Conclusiones

En este documento se presentó la definición de biomasa, sus principales constituyentes y las reacciones de hidrólisis que sufre en los procesos de pretratamiento. Se introdujo al pretratamiento de biomasa, resaltando la importancia de éste como paso fundamental para la transformación del material lignocelulósico en productos de valor agregado. Para llevar a cabo la producción de compuestos de valor agregado, se presentó el concepto de biorrefinería y química verde, resumiendo los principales productos generados en la transformación de la biomasa vegetal, entre los cuales se puede resaltar el bioetanol de segunda generación, la biogasolina, el gas de síntesis, hidrógeno y ácidos orgánicos. Finalmente, se presentaron algunos ejemplos de industrias que han adoptado el concepto de química verde y biorrefinería, y han transformado sus procesos químicos de pulpa y papel en un proceso integral de aprovechamiento de biomasa y minimización de residuos, maximizando el concepto de producción más limpia.

## Referencias

- [1] eia. U.S. Energy Information Administration, (2016) 1. <https://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=5&pid=5&aid=2&cid=ww,&syid=2010&eyid=2014&unit=TBPD> (accessed April 4, 2016).
- [2] F. Cherubini, G. Jungmeier, M. Wellisch, T. Willke, I. Skiadas, R. Van Ree, et al., Toward a common classification approach for biorefinery systems, *Biofuels, Bioprod. Biorefining*. 3 (2009) 534–546. doi:10.1002/bbb.172.
- [3] S.K. Maity, Opportunities, recent trends and challenges of integrated biorefinery: Part I, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 43 (2015) 1427–1445. doi:10.1016/j.rser.2014.11.092.
- [4] T. Silva-Fernandes, L.C. Duarte, F. Carvalheiro, S. Marques, M.C. Loureiro-Dias, C. Fonseca, et al., Biorefining strategy for maximal monosaccharide recovery from three different feedstocks: EUCALYPTUS residues, wheat straw and olive tree pruning, *Bioresour. Technol.* 183 (2015) 203–212. doi:10.1016/j.biortech.2015.01.136.
- [5] E. De Jong, R. Van Ree, R. Van Tuil, W. Elbersen, Biorefineries for the chemical industry -- a Dutch Point of View, *Biorefineries - Ind. Process. Prod. Status Quo Futur. Dir.* 1 (2006).
- [6] Biomass Energy Center, (n.d.). [http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?\\_pageid=76,15049&\\_dad=portal](http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=76,15049&_dad=portal) (accessed April 4, 2016).
- [7] N. Mosier, C. Wyman, B. Dale, R. Elander, Y.Y. Lee, M. Holtzapple, et al., Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass, *Bioresour. Technol.* 96 (2005) 673–686. doi:10.1016/j.biortech.2004.06.025.
- [8] H. Rabemanolontsoa, S. Saka, Various pretreatments of lignocellulosics, *Bioresour. Technol.* 199 (2016) 83–91. doi:10.1016/j.biortech.2015.08.029.

- [9] M. Fatih Demirbas, Biorefineries for biofuel upgrading: A critical review, *Appl. Energy*. 86 (2009) S151–S161. doi:10.1016/j.apenergy.2009.04.043.
- [10] A. Demirbas, Relationships between lignin contents and heating values of biomass, *Energy Convers. Manag.* 42 (2001) 183–188.
- [11] G. Najafpour, A. Ideris, S. Salmanpour, M. Norouzi, Acid hydrolysis of pretreated Palm Oil Lignocellulosic wastes, *Int. J. Eng. Trans. B Appl.* 20 (2007) 147–156.
- [12] G.J.M. Rocha, A.R. Gonçalves, B.R. Oliveira, E.G. Olivares, C.E.V. Rossell, Steam explosion pretreatment reproduction and alkaline delignification reactions performed on a pilot scale with sugarcane bagasse for bioethanol production, *Ind. Crops Prod.* 35 (2012) 274–279. doi:10.1016/j.indcrop.2011.07.010.
- [13] W. Weiqi, W. Shubin, L. Liguó, Combination of liquid hot water pretreatment and wet disk milling to improve the efficiency of the enzymatic hydrolysis of eucalyptus, *Bioresour. Technol.* 128 (2013) 725–730. doi:10.1016/j.biortech.2012.08.130.
- [14] J.D. Coral Medina, A. Woiciechowski, A. Zandona Filho, M.D. Nosedá, B.S. Kaur, C.R. Soccol, Lignin preparation from oil palm empty fruit bunches by sequential acid/alkaline treatment – A biorefinery approach, *Bioresour. Technol.* 194 (2015) 172–178. doi:10.1016/j.biortech.2015.07.018.
- [15] L.P. Ramos, The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials, *Quim. Nova.* 26 (2003) 863–871.
- [16] R. Ravindran, A.K. Jaiswal, A comprehensive review on pre-treatment strategy for lignocellulosic food industry waste: Challenges and opportunities, *Bioresour. Technol.* 199 (2016) 92–102. doi:10.1016/j.biortech.2015.07.106.
- [17] V.B. Agbor, N. Cicek, R. Sparling, A. Berlin, D.B. Levin, Biomass pretreatment: Fundamentals toward application, *Biotechnol. Adv.* 29 (2011) 675–685. doi:10.1016/j.biotechadv.2011.05.005.
- [18] F. Cherubini, The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals, *Energy Convers. Manag.* 51 (2010) 1412–1421. doi:10.1016/j.enconman.2010.01.015.
- [19] A. Gupta, J.P. Verma, Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: A review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 41 (2015) 550–567. doi:10.1016/j.rser.2014.08.032.
- [20] M. Pourbafrani, J. McKechnie, T. Shen, B. a. Saville, H.L. MacLean, Impacts of pre-treatment technologies and co-products on greenhouse gas emissions and energy use of lignocellulosic ethanol production, *J. Clean. Prod.* 78 (2014) 104–111. doi:10.1016/j.jclepro.2014.04.050.
- [21] G. Taylor, Biofuels and the biorefinery concept, *Energy Policy.* 36 (2008) 4406–4409. doi:10.1016/j.enpol.2008.09.069.



# Economía circular y su papel en el diseño e innovación sustentable

**Claudia Lorena García Caicedo**

Candidata a Magíster en Gerencia en Innovación y Tecnología, Universidad de Bath - Inglaterra.  
Ingeniera Química, Universidad Nacional de Colombia  
Correo electrónico: loreg33@gmail.com

## Resumen

La desindustrialización es uno de los temas que generan controversia de la actualidad colombiana, puesto que este país está lleno de oportunidades y potencial para lograr nuevas oportunidades. La innovación es una de las herramientas con más acogida para la apertura del desarrollo sustentable, fundamentada en motivaciones para la mejora de aspectos ambientales, sociales y económicos. Entre las opciones para lograr innovación se encuentra la economía circular, siendo esta una alternativa diferente al modelo económico actual (extraer - usar - disponer), sugiriendo hacer un mejor uso de los recursos, además de reincorporar valor a la cadena productiva, basada en principios como el diseño sin residuos, o reincorporación de los residuos a la cadena como recursos en el mismo sector productivo o de otros formando ciclos o sistemas en cascada, diseños como el desensamble, la estandarización y la modularización (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Actualmente, existen varias empresas a nivel mundial que han implementado sistemas de economía circular, generando beneficios en la reducción de costos, y generando impacto positivo en aspectos ambientales y sociales. Finalmente, se puede resaltar que la economía circular se la puede implementar en diferentes escenarios, teniendo como finalidad el desarrollo sustentable.

**Palabras clave:** economía circular, innovación, desarrollo sustentable.

## 1. Introducción

Los sistemas naturales cumplen con un equilibrio, donde todo lo que se genera cumple un periodo que al finalizarlo se reincorpora al inicio, cumpliendo así un ciclo donde no existen residuos, sin embargo, el ser humano es su afán de producir bienes y servicios ha roto este equilibrio, implementando modelos de producción donde extraen, producen y desechan, llegando a una sociedad que gira en la sobreproducción, sin tener en cuenta el bienestar de nuestras futuras generaciones. En este punto, cabe la pregunta: ¿qué podemos hacer para cambiar esta problemática?, si bien conocemos que los sistemas naturales funcionan de manera cíclica cumpliendo un equilibrio, ¿por qué no implementamos modelos similares en nuestros sistemas productivos y económicos?

Con base a lo anterior, nacen filosofías como la economía circular que busca el cambio de la economía lineal hacia un modelo circular (Ghisellini et al., 2016) with special focus on urban and industrial waste, to achieve a better balance and harmony between economy, environment and society. This study provides an extensive review of the literature of last two decades, with the purpose of grasping the main CE features and perspectives: origins, basic principles, advantages and disadvantages, modelling and implementation of CE at the different levels (micro, meso and macro, dividiendo los componentes en dos grupos generales: nutrientes biológicos y técnicos; generando nuevas alternativas de diseño de productos y sus componentes haciendo que estos se puedan reutilizar o reincorporar a la cadena productiva, yendo más allá de su vida útil, adoptando una cultura nueva de recirculación y así generando beneficios a nuestras futuras generaciones (Ellen MacArthur Foundation 2013).

Actualmente, existen varias compañías como: Coca-cola, Renault, H&M, entre otras, que han adoptado este sistema, implementado cambios como el diseño de los envases de sus productos, utilizando energías renovables, entre otros, logrando así una ventaja competitiva frente a otras compañías. Sin embargo, la economía circular no funciona en un enfoque individualista, se busca generar un cambio dentro de todas las empresas, para que estén interconectadas de manea que trabajen juntas; siendo este uno de los retos que busca la sociedad contemporánea, idear nuevas perspectiva, nuevos horizontes, repensar el sistema actual con creatividad e innovación para lograr cambios positivos en nuestro futuro (Stahel, 2016).

## 2. Desarrollo

El modelo económico actual tiene gran controversia, puesto que es un modelo basado en la producción masiva de bienes y servicios, donde el pensamiento se basa en extraer, usar y desechar, sin tener en cuenta la sustentabilidad de las futuras generaciones. En base a esto, se ha buscado diferentes maneras de reemplazar estos modelos clásicos por nuevas alternativas basadas en innovación.

Una alternativa diferente es la economía circular, la cual tiene como esencia diseñar productos sin generar desechos, productos que faciliten su desmontaje y su reutilización así como en definir modelos empresariales para que los fabricantes

puedan ser incentivados económicamente para recoger, volver a fabricar y distribuir los productos que hacen (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Es decir la economía circular es reparadora y regenerativa, y pretende conseguir que los productos, componentes y recursos en general mantengan su utilidad y valor en todo momento. Este concepto distingue entre ciclos técnicos y biológicos (ver Figura 1).

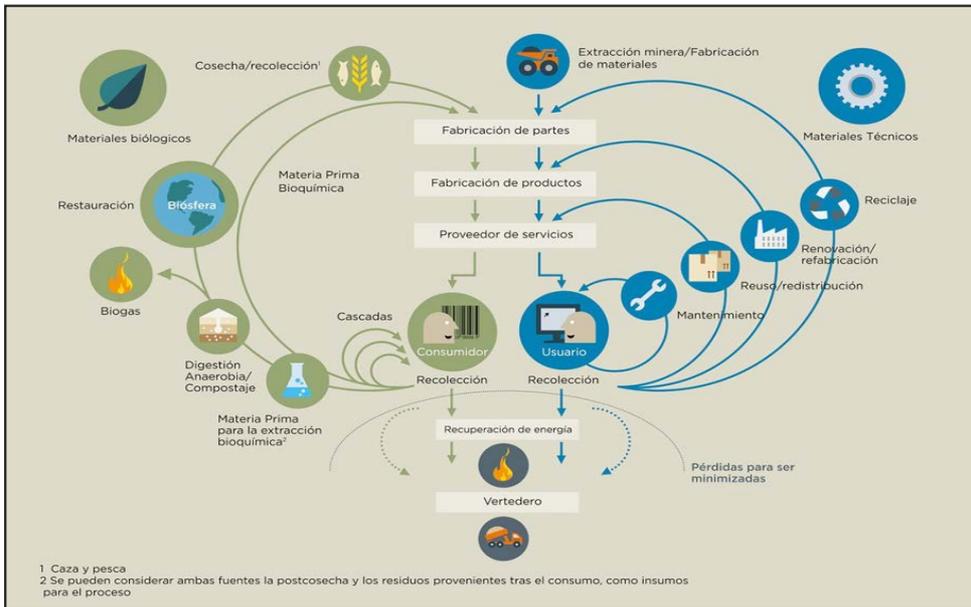


Figura 1. Modelo de la Economía Circular.

Fuente: Ellen MacArthur Foundation (2013).

En la Figura 1 podemos observar que hay dos circuitos: en la izquierda- circuito marcado con verde es el que involucra materiales biológicos- por ejemplo Agua o árboles. El circuito de la derecha –marcado con azul- representa todos los materiales técnicos, que son materiales que no pueden ser retornados a la biosfera sin un costo ambiental, por ejemplo plásticos.

Se puede observar también que el modelo propone subcircuitos que son internos y externos. Entre más internos son los circuitos más se genera valor. Por ejemplo: una acción obvia que puede surgir dentro de una economía circular es Reciclar: estamos reciclando autopartes que las podemos volver a reincorporar en un vehículo, sin embargo, hay actividades que son más eficientes desde un punto de vista económico y ambiental como por ejemplo realizar mantenimientos adecuados para que estas partes no se deban reciclar y duren más tiempo o diseñar productos que duren más tiempo.

El diagrama también muestra cascadas las cuales sobre capturan el valor en niveles múltiples: por ejemplo: un árbol puede ser utilizado para fabricar muebles, que tiene mucho más valor que simplemente quemarlo para generar calor, por lo tanto, residuos de madera pueden ser utilizados más eficientemente.

Este sistema económico se rigen en tres principios básicos:

- **Preservar y mejorar el capital natural:** se puede lograr controlando las existencias finitas y equilibrando los flujos de recursos naturales, puesto que cuando se necesiten recursos, el sistema deberá seleccionar sabiamente y elegir las tecnologías y procesos que empleen recursos renovables, obteniendo mejores resultados, además estos sistemas buscan potencializar el flujo de nutrientes creando condiciones que logran mejoras.
- **Optimizar el uso de los recursos:** el sistema busca la rotación de productos, componentes y materiales a su máxima utilidad, tanto en ciclos biológicos como técnicos, es decir diseñar de modo que pueda repetirse el proceso de fabricación, restauración y reciclaje de modo que los componentes y materiales recirculen y sigan contribuyendo a la economía, todo esto se puede lograr maximizando el uso de materiales con base biológica al final de su vida útil, al extraer valiosos elementos bioquímicos y hacer que pasen en cascada.
- **Fomentar la eficacia del sistema:** el objetivo es eliminar externalidades negativas, lo cual se logra reduciendo los daños al uso humano, como los relacionados con los alimentos, la movilidad, la vivienda, la educación, la salud y el ocio, y gestionar externalidades como el uso del terreno, la contaminación atmosférica, de las aguas y acústica, la emisión de sustancias tóxicas y el cambio climático.

Con base a esto, muchas compañías han implementado estos nuevos modelos en sus sistemas productivos, sin embargo, para que la economía circular tenga validez se debe generar un enfoque grupal, donde las empresas generadoras de bienes y servicios estén interconectadas, logrando así sistemas en cascadas.

### Principios

Ellen MacArthur (2012) ha recopilado diferentes teorías para proponer un modelo de economía circular aplicable al entorno actual. Este modelo se resume en los siguientes seis principios que se deben aplicar para una transición exitosa hacia Economía Circular:

1. **Residuos:** ¿se puede obtener valor de una fuente de residuos?
2. **Diseño:** ¿se puede obtener valor al reusar los materiales, por ejemplo cuando se diseña partes que son fáciles de desensamblar para después utilizar las partes en otros productos?
3. **Materiales:** ¿se puede obtener con los materiales que utilizó fuentes extra de ingreso?
4. **Diversidad:** ¿se tiene productos y materiales diversos que me permitan evitar riesgos de desabastecimiento?

5. **Energía:** ¿se utiliza energía renovable en los procesos productivos?
6. Pensamiento en sistemas y cascadas.

### **Motivaciones**

Las motivaciones para que las empresas implementen modelos de economía circular son varias y de gran impacto en beneficios económicos, ambientales y sociales (De Groene Zaak, 2015).

- En los últimos años la temperatura global está subiendo desmesuradamente, esto trae consecuencias como sequías. Estas sequías significan regulación y racionalización del uso del agua que es un elemento vital para la mayoría de nuestras actividades diarias e industriales. Por otro lado, también estamos enfrentando escasez de recursos naturales como petróleo, minerales, lo que supone una amenaza a medio y largo plazo para abastecernos.
- Últimamente también tenemos regulaciones y legislación que controlan este aspecto para las empresas, por lo cual las empresas deben empezar a involucrar consideraciones ambientales estrictas en sus actividades.
- El cambio climático ha desenlazado en el incremento de desastres naturales.
- Además hay una nueva motivación para los empresarios y consiste en que detrás del desarrollo sustentable hay nuevas oportunidades de negocio con el diseño de productos verdes y amigables con el ambiente.

### **Retos**

Se ha definido que el desarrollo sustentable moldeará la forma de realizar los negocios en el futuro. Sin embargo, hay que reconocer que hay algunos retos por afrontar, como por ejemplo, el comportamiento humano; los seres humanos somos resistentes al cambio y jugamos un papel muy importante en este entorno. En algunos casos el desarrollo sustentable involucra costos extras, como por ejemplo, utilizar biopolímeros es más costoso que utilizar plásticos convencionales.

C2C Centre (n.d.) ha definido otros retos en la implementación de economía circular en el contexto de Colombia:

- Falta de información y concientización respecto a la Economía Circular en el ámbito Empresarial, Gobiernos y ONG/Academia.
- Insuficiente capacidad técnica/conocimiento en la región para la implementación de medidas de Economía Circular.
- Existencia de barreras (mercado doméstico, marco legislativo, aspectos culturales, etc.), para promocionar e implementar métodos de Economía Circular que incluye métodos y instrumentos similares a las de Producción más Limpia.

### 3. Conclusiones

La economía circular es un paradigma emergente que plantea la posibilidad de un desarrollo sustentable soportado por innovación.

La economía circular va más allá de reciclar, propone un cambio de mentalidad desde el diseño con miras hacia sistemas Producto-Servicio.

Economía circular debe ser implementada a nivel global, puesto que las compañías que la implementan pueden tener una remarcable ventaja competitiva.

### Referencias

C2C Centre. (s.f.). Closed Looped Cycle Production in the Americas. Available at: <http://www.c2c-centre.com/project/closed-looped-cycle-production-americas-0>

Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the Circular Economy*, 1. Available at: <http://www.thecirculareconomy.org>.

Ghisellini, P., Cialani, C. & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32.

De Groene Zaak. (2015). *Governments going circular*. Available at: <http://www.govsgocircular.com/>

Stahel, W. (2016). Circular Economy. Available at: <http://www.philips.com/about/sustainability/ourenvironmentalapproach/greeninnovation/circulareconomy.page>.





## Perspectivas para Agregación de Valor al Café de Nariño

**Nancy Marleny Córdoba Castro**

Magíster en Diseño y Gestión de Procesos, Universidad de La Sabana, Ingeniera Agroindustrial, Universidad de Nariño. Docente Tiempo completo Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería de Procesos  
Correo electrónico: nancycordobacastro@gmail.com / ncordoba@umariana.edu.co

Nariño es considerado un departamento con alto potencial en el sector agrícola. El café es uno de los productos que ha ganado reconocimiento en los últimos años dentro de este sector, el cual cuenta con denominación de origen, dadas sus características organolépticas propias que han hecho que sea reconocido en los mercados del mundo. Si bien, cada vez gana mayor fuerza los productos diferenciados en mercados mundiales emergentes, los requerimientos en cuanto a calidad y diferenciación son cada vez mayores. Dadas las particularidades de la producción y procesamiento del café en Nariño, se requiere de mayor asistencia local e investigación aplicada que permita aumentar la productividad, la rentabilidad y la sostenibilidad de su caficultura y la participación en mercados especializados emergentes.

La cantidad de los componentes asociados al aroma del café es un campo de estudio amplio e importante, puesto que determinan el valor de compra ofertado por clientes internacionales de mercados especializados de café. Dado lo anterior, es importante asociar la calidad del café a componente químicos específicos que permita implementar alternativas para obtener bebidas de calidad, con características deseables por los clientes.

Por lo tanto, es de relevancia la caracterización de los componentes químicos asociados al aroma y sabor del café de Nariño, y el efecto de aplicación de técnicas de nuevas alternativas de procesamiento que permita conservar las propiedades organolépticas para la obtención de extractos y productos como el café soluble especial, generando mayor valor agregado y diversificación de ingresos dentro de la cadena del café del Departamento.

**Palabras clave:** café, crioconcentración, extractos de café, café de origen.

## 1. Introducción

El café es el producto alimenticio más importante a nivel mundial, ocupa el segundo lugar dentro de los “commodities” después del petróleo, para los países en vías de desarrollo (Talbot, 2004). Cerca del 60% de los países tropicales y subtropicales lo producen ampliamente, siendo para algunos el principal producto de exportación. La mayoría del café consumido a nivel mundial pertenece a los granos producidos por la especie *Coffea arabica* (Arábica) y *Coffea canephora* (Robusta) (Esquivel y Jiménez, 2012) correspondiente a un 70% y 30%, respectivamente. Asimismo, se estima que de 20 a 25 millones de personas en los países productores dependen del café para sostener sus familias. Los impactos económicos de los bajos precios del café son severos y por tanto, se pueden sentir a escala nacional (Talbot, 2004).

La producción de café en el departamento de Nariño, es considerada como una de las principales actividades agrícolas, la cual se lleva a cabo en el 50% de los municipios de esta región. La cadena del café es catalogada como la tercera cadena productiva más relevante del departamento y se encuentra como una de las cadenas priorizadas dentro del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación de Nariño desde el año 2012. Las características particulares del café de esta región le han otorgado la denominación de origen, certificación atribuida principalmente a las condiciones particulares del perfil de taza del café nariñense, la cual se destaca por su alta acidez, cuerpo medio, aroma pronunciado y sabor limpio y dulce (Rodríguez-Camayo, Schuit, y Lundy, 2012), lo que hace que el café de Nariño presente grandes oportunidades en mercados especializados a nivel internacional.

Actualmente, en Nariño el café se comercializa a nivel interno teniendo en cuenta los parámetros físicos del grano, puesto que no existe la infraestructura y el personal necesario para determinar el perfil de taza y las características sensoriales del mismo. El conocimiento de los atributos sensoriales del café es relevante para el acceso a mercados especializados emergentes y con grandes oportunidades. Sin embargo, actualmente no existen estudios científicos específicos en los que se vincule la diferencia de calidad con compuestos químicos involucrados en el aroma y sabor, ni el efecto del uso de nuevas tecnologías que agreguen valor en estos compuestos.

Dado lo anterior, en el presente estudio se relacionan los principales aspectos relacionados con las características del café y alternativas que pueden enfocarse para generar valor a este producto en el departamento de Nariño.

## 2. Desarrollo

El flavor de la bebida de café está asociado con compuestos volátiles y no volátiles. La generación del sabor en el café inicia en la planta, puesto que los precursores del sabor se desarrollan en primera instancia en el café cereza. La complejidad del sabor se amplía aún más en la variedad de pasos durante el procesamiento del grano y con las técnicas que se utilicen para la tostión y preparación de la taza de café. Así como la variabilidad en el procesamiento y cultivo de café, influyen en la presencia de ciertos componentes volátiles, estos también pueden variar con base en su lugar de origen, la variedad botánica, el manejo agronómico, el tratamiento poscosecha y especialmente,

el grado de tostado de los granos y el método de extracción (Akiyama et al., 2005). Si bien, existe una gran variedad de compuestos asociados con el sabor y aroma, los más estudiados y relacionados con las propiedades sensoriales son los alcaloides (cafeína, trigonelina), ácidos clorogénicos, ácidos carboxílicos, carbohidratos, lípidos, proteínas y minerales (Sunarharum, Williams y Smyth, 2014).

El color y la composición de los granos de café cambian durante el proceso de tostación. La combinación del tiempo y la temperatura determinan la intensidad de calor aplicado y el grado de modificación en los granos de café. Un proceso de tostado fuerte implica granos marrones oscuros, amargos y la falta de aroma típico de café, mientras que un proceso de tostado ligero puede ser insuficiente para la realización de todas las reacciones pirolíticas, lo que genera un café color marrón claro y con características organolépticas subdesarrolladas (Buffo y Cardelli-Freire, 2004). La temperatura de tostación puede variar típicamente entre 180°C a 240°C por periodos de 8-15 minutos. Durante la tostación se dan procesos endotérmicos y exotérmicos que comienzan por la transferencia de calor al grano a través de los gases calientes o el contacto con la superficie metálica del tostador, lo cual reduce el contenido de agua y al enfriarse produce características deseables. El impacto de la tostación sobre el sabor y aroma es producido por la degradación, formación y liberación de numerosos compuestos químicos a través de reacciones como la Maillard, degradación Strecker, descomposición de aminoácidos, degradación de trigonelina, ácido quínico, pigmentos (Sunarharuma, Williams y Smyth, 2014). Los procesos de tostación afectan la calidad de la taza final y se debe tener en cuenta que, aunque existen parámetros generales; el grado de tostación se ve afectado por variables como la variedad de café, el tipo de café y las condiciones de proceso usadas. Estudios realizados por Toci, Farah y Trugo, (2006) en *Café Arabica* encontraron que el proceso de tostación degrada una cantidad considerable de sacarosa (50% en tostado ligero) y ácidos clorogénicos, mientras que las proteínas presentaron una reducción aproximada del 10% en tostación ligera y el 20% en granos con tostación oscura. La concentración de trigonelina también se redujo de acuerdo al grado de tostación.

A nivel nacional existen diversos estudios realizados por Cenicafé sobre los efectos de la tostación en granos brocados y pasillas, sin embargo, se analizan algunas variables fisicoquímicas, pero no existen estudios que permita evidenciar la correlación del tipo de grano, el grado de tostación con compuestos químicos asociados al aroma y sabor del café. A nivel internacional, se encuentran estudios que relacionan algunas variables de tostación y su efecto en el aroma de la bebida, como los de Gloess et al., 2014; Kučera, Papoušek, Kurka, Barták y Bednář, 2016.

Otro de los factores que afecta el sabor de la bebida es la molienda, ya que en este proceso el grano tostado libera sabor del café con el propósito de preparar bebidas ya sea por extracción o infusión (Akiyama, Murakami, Hirano y Ikeda, 2008), por lo tanto, intensidades más altas de aroma tienden a ser percibidos después de la molienda de los granos tostados (Bhumiratana et al., 2011). El nivel de molienda y tamaño de las partículas influye en la extracción y por ende, en la calidad de la bebida preparada. Una molienda demasiado fina podría producir bajo volumen de extracción

y café amargo, mientras que demasiado gruesa puede generar bebidas insípidas (Sunarharuma, Williams y Smyth, 2014). Dado lo anterior, la tostación y la molienda se convierten en factores claves para la obtención de extractos de café con perfiles sensoriales deseables por lo consumidores, los cuales dependen de las condiciones y particularidades de cada proceso.

Debido a la complejidad de la bebida de café, a nivel mundial se está aplicando la Quimiometría, orientada hacia la explicación de los fenómenos de formación de sabor del café durante el tostado, utilizando herramientas matemáticas que permitan vincular las diferencias de calidad con los compuestos del aroma y precursores con las condiciones de procesamiento de café desde el cultivo hasta la obtención de la bebida. La gama de conjuntos de datos que pueden incluirse en este tipo de estudios es amplia y puede abarcar huellas genéticas, información agrícola, datos meteorológicos durante la maduración del grano, huellas químicas y perfiles sensoriales. Algunos de estos datos pueden ser comparados directamente entre las muestras (por ejemplo, el número de días de sol o de la región en crecimiento), mientras que otros necesitan ser preprocesados (Lindinger, De Vos, Lambot, Pollien, et al., s.f.).

En Nariño, según la información disponible, la oferta de café con valor agregado como café tostado o café soluble es incipiente. En el caso del café tostado aunque existen pequeñas tostadoras de café, funcionan en pequeñas fincas y poco se conocen en el mercado local. En el caso del café soluble, no hay información acerca de su producción con café de Nariño (Rodríguez-Camayo, Schuit y Lundy, 2012); sin embargo, en sintonía con las tendencias globales, los cafés solubles colombianos elaborados con granos de la más alta calidad, ofrecen un abanico cada vez más amplio de experiencias únicas y diferenciadas (Federación Nacional de Cafeteros, 2015). Dado lo anterior, de manera particular el mercado de café liofilizado sigue tomando alta importancia, esto debido a la tendencia en la “premiumización” de productos, lo que ha llevado a que para el caso del café, se incremente la demanda de productos de muy alta calidad, pero con consumos prácticos y versátiles (La guía del café, 2015).

Asimismo, se ha establecido que el consumo de café soluble crece a mayor ritmo y gana participación dentro de la categoría de café tostado en la mayoría de las regiones del país, fenómeno que se debe, en parte, a las presentaciones personales que han permitido alta penetración en el canal de tiendas. Por otra parte, vale la pena resaltar, que los colombianos siguen honrando la tradición y el rito de preparación del café tostado y molido: de cada 100 Kg que se venden de café, 86 Kg son de café tostado y molido, los restantes 14 Kg son de café instantáneo. Dentro del café tostado y molido, el consumo está concentrado en los productos y marcas tradicionales (Programa de promoción de consumo de café en Colombia, 2015).

Las marcas tradicionales de cafés solubles existentes en el país, por lo general, utilizan granos de café pasilla dentro de sus procesos. El café pasilla se refiere a un café que no cumple con los requisitos para la exportación. El cual presenta defectos como grado incorrecto de humedad, daño por insectos, granos negros, granos vanos o granos que no están sobre malla 14 en la criba/tamiz de café. En otros países se refieren a estos granos, como segundas y terceras (refiriéndose a la calidad). La demanda de estos co-productos corresponde a Colombia, para la industria nacional, pero también hay algunos compradores en el mercado internacional interesados, que van para unos clientes muy específicos que los mezclan con otros orígenes de menor valor. Estos

mercados incluyen fábricas de café soluble en el exterior y mezclas de varios orígenes para marcas privadas para supermercados que utilizan calidades muy bajas (La guía del café, 2015).

El contenido de granos inferiores tiende a aumentar en periodos de sequía, en particular cuando se presenta el fenómeno de El Niño (Federación Nacional de Cafeteros, 2015), razón por la cual es necesario incorporar alternativas de aprovechamiento que permitan mejorar y diversificar los ingresos de los productores. En la cadena de café de Nariño, al igual que en el resto del país, aproximadamente, del 100% del grano que vende cada caficultor en Colombia, cerca del 10% es pasilla, es decir, almendra de mala calidad. Este mercado es manejado por cuatro grandes comercializadores, quienes son los encargados de fijar el precio al que le compran al agricultor, que oscila entre 1500 – 2000 COP\$/Kg, sin tener en cuenta un precio internacional (Federación Nacional de Cafeteros, 2015).

El uso de estos granos (pasilla) puede ser orientados hacia la producción de extractos de café, que pueden ser usados en diferentes campos de la industria, generando de esta manera valorización de productos; asimismo, la producción de café soluble puede incidir en el mejoramiento de los ingresos de los productores. En cuanto a mecanismos para generar valor agregado al café, se han investigado nuevas tecnologías de procesamiento que permitan la conservación de las características de sabor y aroma característicos de café como la crioconcentración.

Según la revisión del estado del arte se evidencian antecedentes de estudios realizados en crioconcentración de café (Moreno et al., 2015; Moreno, Hernández, Raventós, Robles y Ruiz, 2014; Moreno, Raventós, Hernández y Ruiz, 2014), sin embargo, aún existen retos tecnológicos por resolver y no se ha realizado estudios usando cafés especiales.

Por lo tanto, el desarrollo de investigaciones que permitan caracterizar los compuestos que aportan el flavor particular del café de Nariño, y el efecto de la aplicación de tecnologías que agreguen valor a este producto sobre sus propiedades organolépticas es de relevancia, y ofrecería oportunidades dentro de este sector.

La crioconcentración es un método de eliminación de agua de una solución por enfriamiento y congelamiento hasta la formación y separación de cristales de hielo de alta pureza, de esta manera, se logra obtener un producto de mayor concentración conservando la calidad nutricional y sensorial de los alimentos (Ramirez, Moreno y Ruiz, 2012). Las aplicaciones de la crioconcentración son extensas e incluyen, industrias de alimentos como los jugos, lácteos, vinos, cerveza, bebidas, industrias biotecnológicas y en tratamiento de aguas residuales (Aider y De halleux, 2009; Sanchez, Ruiz, Auleda y Raventós, 2009). Si soluciones acuosas se someten a un enfriamiento por debajo del punto de congelación se formará una fase sólida que en principio estará compuesta por agua pura y estará en equilibrio con una fase líquida de mayor concentración a la inicial (Rahman, 2006). Este proceso normalmente implica fenómenos de transferencia de masa y de calor que pueden ocasionar el fenómeno conocido como oclusión del sólido que es el encerramiento del sólido en los cristales de hielo formados (Petzold y Aguilera, 2009).

La única técnica aplicada industrialmente, es la crioconcentración por suspensión, la cual ha sido aplicada a extensos productos alimentarios para reducir volumen y economizar el embalaje, almacenamiento y transporte, manteniendo la calidad del producto original, y a productos nutracéuticos para el tratamiento de sustancias

sensibles al calor, permitiendo concentrar los componentes valiosos a partir de su fuente natural (GEA, 2011).

Si bien, a nivel mundial se han estudiado los diferentes compuestos que pueden asociarse con el aroma y sabor del café, como los realizados por Gloess et al., 2014; Sunarharuma, Williams y Smyth, 2014; Barié, Bücking, Stahl y Rapp, 2015; Uman et al., 2016; no se encuentran estudios ampliados donde se incluyan investigaciones específicas para las moléculas que están directamente relacionadas con los perfiles de aromas característicos de cafés especiales de origen y efecto que pueden causar la aplicación de diferentes tecnologías para la generación de valor agregado a este producto. Lo anterior, es considerado relevante puesto que en el país existen denominaciones de origen para proteger las características excepcionales de cafés de diferentes zonas del territorio nacional, que han sido diferenciadas por sus características sensoriales particulares, tales como el de Cauca, Santander, Huila, Nariño, que son ampliamente reconocidos en el ámbito internacional y que pueden tener un alto potencial de estudio para generar estrategias que permitan la valorización de productos y subproductos (pasillas) del café orientados hacia la generación de ingresos para los productores.

### 3. Conclusiones

El café de Nariño presenta un alto potencial de desarrollo por su reconocimiento a nivel internacional, sin embargo, se requieren de estudios que relacionen las características sensoriales con los compuestos químicos asociados al aroma y sabor de la bebida.

La evaluación del aprovechamiento de pasillas para la generación de nuevos productos puede ser una alternativa que permita la diversificación de la producción de la cadena de valor del café, generando mejores ingresos a los productores.

Nuevas técnicas de procesamiento de alimentos, como la crioconcentración puede ser utilizada para la elaboración de nuevos productos que conserven en una gran proporción, las cualidades sensoriales del café de Nariño.

Se requiere de investigaciones aplicadas y sostenibles que permitan medir el efecto de nuevas tecnologías en las propiedades específicas del café de Nariño.

### Referencias

- Akiyama, M., Murakami, K., Ikeda, M. et. al. (2005). Characterization of flavor compounds released during grinding of roasted Robusta coffee beans. *Food Science and Technology Research*, 298-307.
- Barié, N., Bücking, M., Stahl, U. & Rapp, M. (2015). Detection of coffee flavour ageing by solid-phase microextraction/surface acoustic wave sensor array technique (SPME/SAW). *Food chemistry* (176), 212-218.
- Buffo, R. & Cardelli-Freire, C. (2004). Coffee flavour: an overview. *Flavour and Frangance Journal*, 19, 99–104.
- Catholic Relief Services (CRS), Centro Internacional De Agricultura Tropical (CIAT). (2012). *Análisis de la Cadena de Valor de Café, Departamento de Nariño*. Pasto: Catholic Relief

Services (CRS)-Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

- Esquivel, P. & Jiménez, V. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 488-495.
- Federación Nacional De Cafeteros. (s.f.). Café de Colombia. Recuperado de <[http://www.cafedecolombia.com/bb-fnc-es/index.php/comments/premiumizacion\\_del\\_cafe\\_liofilizado](http://www.cafedecolombia.com/bb-fnc-es/index.php/comments/premiumizacion_del_cafe_liofilizado)>
- Figuroa-Meneses, J. (2012). *Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación de Nariño. Gobernación de Nariño*. Pasto: Gobernación de Nariño.
- GEA. (2011). *Freeze Concentration of Liquid Foods*. Recuperado de [http://www.gea-messopt.com/geacrystal/cmsresources.nsf/filenames/freezeconcentration-sm-052011.pdf/\\$file/freezeconcentration-sm-052011.pdf](http://www.gea-messopt.com/geacrystal/cmsresources.nsf/filenames/freezeconcentration-sm-052011.pdf/$file/freezeconcentration-sm-052011.pdf).
- Lindinger, C. (s.f.). Coffee chemometrics as a new concept: untargeted metabolic profiling of coffee. *Expression of Multidisciplinary Flavour Science*, 581-584.
- Ioess, A., Vietri, A., Wieland, F., Smrke, S., Schönbacher, B., Sánchez López, J. A., . . . Yeretzi, C. (2014). Evidence of different flavour formation dynamics by roasting coffee. *International Journal of Mass Spectrometry*, (365), 324-337.
- Moreno, F., Hernández, E., Raventós, M., Robles, C. & Ruiz, Y. (2014). A process to concentrate coffee extract by the integration of falling film and block freeze-concentration. *Journal of Food Engineering*, 128, 88-95.
- Moreno, F., Quintanilla-Carvajal, M., Sotelo I., Osorio C., Raventós, M., Hernández, E., Ruiz, Y. (2015). Volatile compounds, sensory quality and ice morphology in falling-film and block freeze concentration of coffee extract. *Journal of Food Engineering*, 166, 64-71.
- Moreno, F., Quintanilla-Carvajal, M., Sotelo I., Osorio C., Raventós, M., Hernández, E. & Ruiz, Y. (2015). Volatile compounds, sensory quality and ice morphology in falling-film and block freeze concentration of coffee extract. *Journal of Food Engineering*, 166, 64-71.
- Petzold, G. & Aguilera, J. (2009). Ice Morphology: Fundamentals and Technological Applications in Foods. *Food Biophysics*, 4(4), 378-396.
- Programa de promoción de consumo de café en Colombia. Toma café. Crece consumo de café en Colombia por segundo año consecutivo [en línea] <http://www.tomacafe.org/tomacafe/inter-na.php?idinterna=0&iddetalle=32&idactual=135>
- Rodríguez-Camayo, F., Schuit, P. y Lundy, M. (2012). Estudio de mercado de café verde para Nariño, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT.
- Sunarharum, W., Williams, D. & Smyth, H. (2014). Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. *Food Research International*, 315-325.
- Talbot, J. (2004). *Grounds for agreement: the political economy of the Coffee commodity chain*. Rowman & Littlefield Publishers. Inc. Oxford.



# Importancia del Liderazgo en la Cadena de Suministros de Clase Mundial

**José M. Sánchez**

Fue investigador asociado en *The Automation and Robotics Research Institute* en Fort Worth, Texas, y en *CIM Systems* en Richardson, Texas. Tiene publicaciones en *The Journal of Intelligent Manufacturing*, *The Journal of Integrated Computer-Aided Engineering*, *Computer Integrated Manufacturing* y *Expert Systems with Applications*. Asimismo, es coautor de los libros "Product Development Design for Manufacturing: A Collaborative Approach to Producibility and Reliability" (Marcel & Dekker, 2001, [www.amazon.com](http://www.amazon.com), ISBN: 0-8247-9935-6) and "Handbook of Life Cycle Engineering: Tools and Technologies" (Kluwer Academic Publishers, 1999; [www.amazon.com](http://www.amazon.com), ISBN: 0 412 81250 9). Se ha desempeñado como profesor investigador del Centro de Inteligencia Artificial del Campus Monterrey. Ha sido profesor visitante en: The University of San Diego, San Diego CA; Thunderbird University en Phoenix AZ; Jones Graduate School of Management, Rice University en Houston, TX; de EUNCET (Escuela de Negocios de la Universidad Politécnica de Cataluña); INCAE en Costa Rica, Instituto de Empresa en Madrid, ES; Escuela de Negocios de la Universidad de Talca en Chile. Obtuvo el premio anual a la Labor Docente e Investigación otorgado por el Tecnológico en 1992, 1995, 1998 y 2001. Ha sido ganador del Premio Rómulo Garza del Sistema Tecnológico de Monterrey en 1999 y 2001. Actualmente, es director del Centro Internacional de Logística del ITESM, campus Monterrey.

Profesor Titular de Operaciones, Logística y Cadena de Suministros del Tecnológico de Monterrey (ITESM), Director del Centro Internacional de Logística Centro de Calidad y Manufactura, ITESM Monterrey, NL Mexico  
Correo electrónico: [jsanchez@itesm.mx](mailto:jsanchez@itesm.mx)

## Resumen

Probablemente somos de las personas que diariamente se levantan con buenas intenciones. La intención de ser mejores padres, mejores trabajadores, mejores ciudadanos o mejores líderes. Sabemos lo que hay que hacer; sin embargo, siempre hay algo o alguien que arruina nuestras buenas intenciones. Por lo tanto, no basta levantarse con buenas intenciones, hay que ser intencional en todo lo que deseamos. En este taller se describe el liderazgo como una habilidad que se puede aprender y desarrollar mediante un proceso intencional de cambio. El liderazgo intencional se centra en reconocer y fortalecer las habilidades, actitudes y valores relacionados con la responsabilidad, la confianza y la participación orientada al desarrollo colaborativo de proyectos o al logro participativo de metas y objetivos. El propósito es mejorar el trabajo en equipo y las condiciones del entorno laboral de una organización. La identificación de las habilidades y las competencias necesarias del liderazgo personal han sido los elementos primordiales en el desarrollo de los contenidos de esta conferencia.

**Palabras clave:** Liderazgo, Influencia, Trabajo en equipo, Cadena de Suministros, Empresa de Clase Mundial

## Introducción

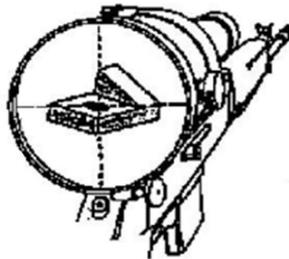
Probablemente somos de las personas que diariamente se levantan con buenas intenciones. La intención de ser mejor cónyuge, mejor padre o madre, mejor trabajador, mejor líder. Sabemos lo que hay que hacer, sin embargo, siempre hay algo o alguien que arruina nuestras buenas intenciones. Por lo tanto, no basta con levantarse con buenas intenciones, hay que ser intencional en todo lo que buscamos. En este taller se considera el liderazgo como una habilidad que se puede aprender y desarrollar si se decide vivir un proceso intencional de cambio. El liderazgo intencional se centra en reconocer y fortalecer, de manera intencional, las actitudes y valores relacionados con la responsabilidad, la confianza y la participación, orientada al desarrollo colaborativo de proyectos o al logro colaborativo de metas y objetivos.

## Desarrollo

Temática a abordar:

- Ciclo de Vida del Desarrollo de un Producto
- Liderazgo en la Cadena de Suministros: GARTNER Top 25 SC, 2015.
- ¿Qué es el Liderazgo?
- Las 21 Leyes y los 5 Niveles del Liderazgo.
- ¿Qué Concluimos?

## Estrategia Operacional y de Mercado



**Desarrollo Integral de Productos: Incluir Innovación, Operaciones y Cadena de Suministro en todos los Procesos de Negocios.**

Gartner Rankings of its 2015 Supply Chain Top 25

**¿Qué hace a una compañía ubicarse en los primeros lugares de liderazgo según este ranking?**

Winners Revealed at Gartner Supply Chain Executive Conference in Phoenix, AZ  
(<http://www.gartner.com/newsroom/id/3053118>)

### Gartner's Top 25 Supply Chains for 2015

2015 Rank	Company	2014 Rank
1	Amazon	3
2	McDonald's	2
3	Unilever	4
4	Intel	8
5	Inditex (Zara)	11
6	Cisco Systems	7
7	H&M	13
8	Samsung Electronics	6
9	Colgate-Palmolive	9
10	Nike	12
11	The Coca Cola Co.	10
12	Starbucks	17
13	Walmart	14
14	3M	18
15	Pepsico	15
16	Seagate Technology	20
17	Nestlé	25
18	Lenovo Group	16
19	Qualcomm	19
20	Kimberly-Clark	21
21	Johnson & Johnson	22
22	L'Oréal	N/A
23	Cummins	24
24	Toyota	N/A
25	Home Depot	N/A

- Confían en el **Liderazgo** de su gente.
- Usan **cuatro indicadores** cruciales para evaluar

La efectividad y eficiencia de su cadena:

- Exactitud en el pronóstico de la demanda.
- Cumplimiento perfecto de pedidos OTIF (completo, exacto y a tiempo).
- Costo total de operación de la cadena.
- Tiempo de ciclo cash-cash.

**John Mentzer** en su libro *"The New Supply Chain*

*Agenda"* propone lo siguiente para facilitar la creación de valor en la cadena de suministros:

1. *Pick the Right Leaders and Develop Supply Chain Talent.*
  2. *Keep Up with Supply Chain Technologies and Trends.*
  3. *Eliminate Crippling Cross-Functional Disconnects (incentives and metrics).*
  4. *Collaborate with Suppliers and Customers.*
  5. *Implement a Disciplined Process of Project Management and Change.*
- *SCM: Trabajo Individual VS Trabajo en Equipo.*
  - *"85% of organizational change efforts fail" – Arthur D. Little.*
  - **¿Qué sucede** cuando un equipo de futbol no está ganando?

**David Hartley, presidente de Hyatt Hotels:**

*"El 99 % de los empleados quieren desempeñar un buen trabajo. Sin embargo, la manera como lo realizan es simplemente un reflejo de aquel para quien trabajan"*

**POR LO TANTO:**

- Todo se levanta o se cae con el liderazgo.
- *La clave del éxito de cualquier esfuerzo está en nuestra capacidad de dirigir a otros con éxito.*

**Fred Fiedler: Teoría de Liderazgo de Contingencias, 2009.**

*“Liderazgo es la capacidad de persuadir a otro para que busquen entusiastamente objetivos definidos. Es el factor humano que mantiene unido a un grupo y lo motiva hacia sus objetivos”*

**Richard L. Daft: La Experiencia del Liderazgo, 2006**

*“Liderazgo es la relación de influencia que ocurre entre los líderes y sus seguidores, mediante la cual, las dos partes pretenden llegar a cambios y resultados reales que reflejen los propósitos que comparten”*

**Peter Senge. The Fifth Discipline: The Art & Practice of The Learning Organization, 2012.**

*“Líder es una persona que participa en la organización modelando su futuro, que es capaz de inspirar a las personas a su alrededor, de realizar cosas difíciles y de probar cosas nuevas, simplemente significa ir para adelante, todos los seres humanos tienen capacidad para avanzar”*

**Peter Drucker. The Effective Executive: The Definitive Guide to Getting the Right Things Done, 2006.**

*“El liderazgo no es rango, privilegios, ni títulos o dinero: es responsabilidad”. “Un líder eficaz no es alguien a quien se le quiera o admire. Es alguien cuyos seguidores hacen lo que es debido. La popularidad no es liderazgo. Los resultados sí lo son”.*



**John C. Maxwell : Apertura para el Liderazgo Intencional**

***“Liderazgo es Influencia, Nada más y Nada menos”***

*Capacidad de tener seguidores*

**Leyes de liderazgo:**

- *Son Irrefutables.*
- *Son Independientes.*
- *Se Pueden Aprender.*
- *Traen consigo consecuencias.*
- *Son el fundamento del liderazgo.*
- *Las 21 leyes enseñan cómo funciona el liderazgo.*
- *No son para los selectos miembros de un club ni requiere membresía.*
- *Su desarrollo requiere de Decisiones, Principios y Disciplina.*
- *Los Principios están descritos en este taller, la Decisión y la Disciplina son una tarea personal.*

**LEY DEL TOPE:** La capacidad de liderazgo es el tope que determina el nivel de eficacia de una persona.

**LEY DE LA INFLUENCIA:** La verdadera medida del liderazgo es Influencia, nada más, nada menos.

**LEY DEL PROCESO:** El liderazgo se desarrolla a diario, no súbitamente.

**LEY DE LA NAVEGACION:** Cualquiera puede gobernar un barco pero se necesita un líder para planear la ruta.

**LEY DE LA ADICION:** Los líderes añaden valor por medio del servicio a los demás.

**LEY DEL TERRENO FIRME:** La confianza es el fundamento del liderazgo.

**LEY DEL RESPETO:** Por naturaleza la gente sigue a los líderes que son más fuertes que ellos mismos.

**LEY DE LA INTUICION:** Los líderes evalúan todas las cosas con pasión de liderazgo.

**LEY DEL MAGNETISMO:** Quien es usted es a quien atrae.

**LEY DE LA CONEXION:** Los líderes tocan el corazón antes de pedir la mano.

**LEY DEL CIRCULO INTIMO:** El potencial de un líder es determinado por quienes están más cerca de él.

**LEY DEL OTORGAMIENTO DE PODERES:** Solo los líderes seguros otorgan poder a otros.

**LEY DE LA IMAGEN:** La gente hace lo que ve.

**LEY DEL APOYO:** La gente apoya primero al líder, luego a la visión.

**LEY DE LA VICTORIA:** Los líderes encuentran la forma de que el equipo gane.

**LEY DEL GRAN IMPULSO:** El impulso es el mejor amigo del líder.

LEY DE LAS PRIORIDADES: Los líderes entienden que actividad no es necesariamente logro.

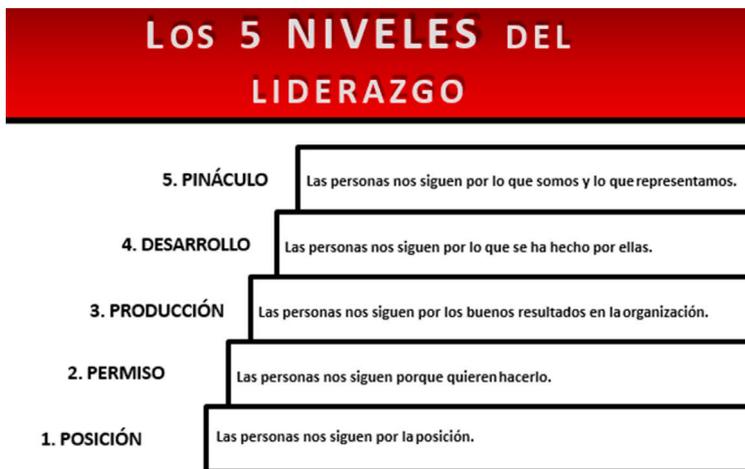
LEY DEL SACRIFICIO: Un líder debe ceder para subir.

LEY DEL MOMENTO OPORTUNO: Ser líder es tan importante como saber qué hacer y donde ir.

LEY DEL CRECIMIENTO EXPLOSIVO: Para añadir crecimiento, dirija seguidores; para multiplicar, dirija (desarrolle) líderes

LEY DEL LEGADO: El valor duradero de un líder se mide por la sucesión.

### 5 niveles de liderazgo:



- Todo se levanta o se cae con el liderazgo.
- Liderazgo es influencia, nada más y nada menos.
- La persona más difícil de liderar es uno mismo.
- La máxima meta del liderazgo es agregar valor a los demás.
- *“El mundo está en manos de aquellos que tienen el coraje de soñar y correr el riesgo de vivir sus sueños” (Paulo Coelho).*
- Taller de Liderazgo Intencional.
- Taller de las 21 Leyes Irrefutables del Liderazgo.
- Gestión Estratégica de la Cadena de Suministros.
- Excelencia Operacional de la Cadena de Suministros.
- Gestión de Inventarios y Centros de Distribución.

### Referencias Bibliográficas

LAS 21 LEYES IRREFUTABLES DEL LIDERAZGO de John C. Maxwell, 10ª Edición, Thomas Nelson, Inc., 2007.



**UFU USP**

Universidade de São Paulo  
Brasil

**UFPR**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

**Tecnológico de Monterrey**



UNIVERSITY OF  
**BATH**



**CRS**  
CATHOLIC RELIEF SERVICES



**ALCALDÍA DE PASTO**  
Legitimidad Participación Honestidad

