



**Evaluación de la sostenibilidad de la síntesis de celulosa mediante el uso de líquidos iónicos (EMIM[AoC]) y residuos agroindustriales (flores), a escala industrial**

Juan Sebastián Pérez Vallejo

Trabajo de grado presentado para optar al título de Magíster en Ingeniería Ambiental

Director

Mauricio Esteban Sánchez, Magíster (MSc) en Ingeniería

Asesores

Juan Carlos Cruz Jiménez, PostDoctor (PostDoc) en Materials Science and Engineering  
Sandra Carolina Agudelo Arbeláez, Magíster (MSc) en Soil and Environmental Sciences

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería Ambiental

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

<b>Cita</b>	(Pérez Vallejo, 2022)
<b>Referencia</b>	Pérez Vallejo, J. S. (2022). <i>Evaluación de la sostenibilidad de la síntesis de celulosa mediante el uso de líquidos iónicos (EMIM[AoC] ) y residuos agroindustriales (flores), a escala industrial</i> [Tesis de maestría]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo basado en APA 7 (2020)</b>	



Maestría en Ingeniería Ambiental, Cohorte XXI.

Grupo de Investigación Simulación, Diseño, Control y Optimización de Procesos (SIDCOP).



**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes

**Directora de Investigación y Posgrados Facultad de Ingeniería:** Sara Cristina Vieira Agudelo.

**Coordinador académico:** Yudy Andrea Londoño Cañas

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Este trabajo se lo dedico a mi familia y a mis amigos.

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por no dejarme caer, por darme fuerzas para continuar y por ayudarme a nunca perder la fe

Agradezco especialmente a mi director en este trabajo de grado Mauricio Sánchez, por compartir sus valiosos conocimientos conmigo, por el tiempo que me dedicó a mí y a este trabajo; además, por su paciencia para guiarme y animarme siempre en este camino.

Gracias a Carolina Agudelo y Juan Carlos Cruz mis asesores en este trabajo de grado, por confiar en mis capacidades para el desarrollo de esta investigación y por estar siempre acompañándome en mi etapa académica y profesional; además, siempre estuvieron atentos en solucionar las dudas que tuve.

Agradezco a la escuela ambiental de la Universidad de Antioquia quienes me colaboraron con el estímulo de estudiante instructor que permitió que tuviera experiencias enriquecedoras en docencia.

Agradezco a Cesar Vásquez quien, con su investigación desarrollada en 2015, permitió ser el punto de partida para desarrollar este trabajo de grado.

Agradezco a la profesora Natalia Cano por su amable disposición, quien, con su amplio conocimiento en la metodología del Análisis de Ciclo de Vida, siempre estuvo atenta ante inquietudes.

Gracias a mi familia por apoyarme siempre.

Gracias a mis amigos que me animaron en los momentos que más lo necesitaba durante el desarrollo del presente trabajo, especialmente a Juan Esteban Jurado, Johanna Avendaño, Erika Restrepo, Andres Navarro, Susan Lamb, Ana Vidal, Yesica Mejía, Ángela Cajas, Silvia León, Jeraldin Avendaño y Juan Camilo Vanezas.

Gracias a mi jefe Rodrigo Vélez y la empresa SAG S.A, quienes me apoyaron y animaron durante todo el posgrado.

## Tabla de contenido

	Pág.
RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
1 INTRODUCCIÓN .....	3
2 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	6
2.1 Aspectos generales de la celulosa.....	6
2.1.1 Biomasa lignocelulósica para la síntesis de celulosa .....	6
2.1.2 Celulosa y derivados .....	9
2.2 Aspectos generales de la síntesis de celulosa .....	12
2.2.1 Procesos convencionales para la síntesis de celulosa y MCC.....	12
2.2.2 Proceso Organosolv para la síntesis de celulosa .....	13
2.2.3 Procesos con líquidos iónicos para la síntesis de celulosa .....	14
2.3 Comercio e industria de la celulosa y sus derivados quimicos.....	17
2.3.1 Mercado internacional de la celulosa y sus derivados .....	17
2.3.2 Aspectos técnico-económicos de la MCC.....	22
2.4 Sostenibilidad .....	26
2.4.1 Análisis de Ciclo de Vida.....	28
2.4.2 Evaluación integrada de sostenibilidad para procesos químicos .....	32
3 HIPÓTESIS.....	35
4 OBJETIVOS.....	36
4.1 Objetivo General.....	36
4.2 Objetivos Específicos .....	36
5 METODOLOGÍA .....	37
5.1 Flujograma metodológico.....	37
5.2 Estudio de mercado .....	38
5.2.1 Análisis de comercio internacional de celulosa microcristalina .....	38
5.2.2 Flujos comerciales de MCC en Colombia.....	39
5.2.3 Segmentación del mercado de la MCC .....	41
5.3 Estudio técnico .....	42
5.3.1 Simulación de los procesos de síntesis de celulosa en ASPEN PLUS® .....	42
5.3.2 Análisis de localización.....	53
5.3.3 Análisis normativo y legal.....	62
5.4 Estudio económico .....	62

5.4.1	Estimación de costos de mano de obra.....	62
5.4.2	Estimación de costos de constitución de empresa.....	66
5.4.3	Tarifas de servicios públicos .....	67
5.4.4	Costos de materias primas.....	67
5.4.5	Costos transporte de residuos de flores .....	67
5.4.6	Costos máquinas y equipos .....	68
5.4.7	Flujos de caja libre .....	70
5.4.8	Evaluación financiera.....	73
5.5	Ánalysis de ciclo de vida (acv).....	77
5.5.1	FASE 1: Definición de los objetivos y el alcance.....	77
5.5.2	FASE 2: Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV).....	77
5.5.3	FASE 3: Evaluación del impacto ambiental (EICV) .....	78
5.5.4	FASE 4: Interpretación.....	79
5.6	Análisis de sostenibilidad .....	80
6	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	89
6.1	Estudio de mercado .....	89
6.1.1	Análisis de comercio internacional de celulosa microcristalina .....	89
6.1.2	Flujos comerciales de MCC en Colombia.....	92
6.1.3	Segmentación del mercado de la MCC .....	97
6.2	Estudio técnico .....	103
6.2.1	Resultados de simulación .....	103
6.2.2	Análisis de localización.....	107
6.2.3	Análisis normativo y legal.....	116
6.3	Estudio económico .....	120
6.3.1	Resultados de la estimación de los costos mano de obra .....	120
6.3.2	Resultados de estimación de los costos de constitución de empresa .....	120
6.3.3	Resultado de los costos de servicios públicos .....	121
6.3.4	Resultados de los costos de sustancias químicas y materias primas .....	123
6.3.5	Resultado de los costos de transporte de residuos de flores.....	123
6.3.6	Resultado de los costos de máquinas y equipos .....	124
6.3.7	Resultados de la evaluación financiera .....	125
6.4	Análisis de ciclo de vida (ACV).....	133
6.4.1	FASE 1: Definición objetivo y alcance del ACV .....	133
6.4.2	FASE 2: Análisis del Inventario (ICV).....	138

6.4.3	FASE 3: Evaluación del impacto ambiental (EICV) .....	140
6.4.4	FASE 4: Interpretación.....	140
6.5	Análisis de Sostenibilidad .....	141
6.5.1	Análisis de sensibilidad de criterios y alternativas.....	143
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	146
8	REFERENCIAS .....	148
9	ANEXOS.....	158
	Anexo 1 .....	159
	Anexo 2 .....	160
	Anexo 3 .....	164
	Anexo 4 .....	171
	Anexo 5 .....	173
	Anexo 6 .....	175
	Anexo 7 .....	184

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 2-1. Clasificación de la biomasa lignocelulósica y su composición .....	7
Tabla 2-2. Experiencias en la obtención de MCC.....	11
Tabla 2-3. Partidas y subpartidas arancelarias del mercado de la celulosa.....	18
Tabla 2-4. Tipos comerciales de MCC.....	22
Tabla 2-5. Condiciones generales de producción.....	23
Tabla 2-6. Demanda de agua y combustible para los procesos de síntesis de MCC .....	24
Tabla 2-7. Valores predeterminados utilizados para el cálculo de costos operativos y de inversión.....	24
Tabla 2-8. Costo operativo y total del proyecto para los casos sMCC y iMCC. ....	25
Tabla 2-9. Análisis de costo-beneficio para los casos de sMCC e iMCC.....	25
Tabla 2-10. Resultados de evaluación de impactos.....	30
Tabla 2-11. Datos del análisis de inventario .....	31
Tabla 2-12. Categorías de impacto evaluadas .....	31
Tabla 5-1. Medida de error de las previsiones seleccionadas .....	39
Tabla 5-2. Medida de error de las previsiones seleccionadas .....	40
Tabla 5-3. Medida de error de las previsiones seleccionadas .....	42
Tabla 5-4. Macro localización.....	53
Tabla 5-5. Criterios del modelo jerárquico .....	55
Tabla 5-6. Escala de Saaty .....	58
Tabla 5-7. Modelo matriz legal .....	62
Tabla 5-8. Salario Mínimo Legal Mensual (SMLM) y prestaciones sociales en Colombia.....	63
Tabla 5-9. Rangos salariales personal calificado en Colombia.....	65
Tabla 5-10. Gastos de constitución .....	66
Tabla 5-11. Tarifas servicios públicos municipio de Rionegro, Antioquia (Colombia).....	67
Tabla 5-12. Equipos de proceso .....	68
Tabla 5-13. Porcentajes típicos de valores de inversión de capital para plantas multipropósito .....	70
Tabla 5-14. Cambio divisas.....	71
Tabla 5-15. Flujo de caja operativo.....	72
Tabla 5-16. Flujo de caja del proyecto.....	73
Tabla 5-17. Determinación comparativa de TIR para dos alternativas de proyecto (inversión extra) .....	74
Tabla 5-18. Criterios del modelo jerárquico .....	80
Tabla 5-19. Rango de escala de sostenibilidad .....	85
Tabla 6-1. Entradas y salidas método acetosolv (MCC-Ac).....	103
Tabla 6-2. Entradas y salidas método Emim[AoC] (MCC-IL).....	105
Tabla 6-3. Comparación de los flujos de entrada para los procesos MCC-Ac y MCC-IL .....	106
Tabla 6-4. Comparación de los flujos de salida para los procesos MCC-Ac y MCC-IL.....	107
Tabla 6-5. Estimación de residuos de flores en Colombia.....	108
Tabla 6-6. Marco normativo vigente aplicable .....	116
Tabla 6-7. Costos mano de obra.....	120
Tabla 6-8. Gastos de constitución .....	121
Tabla 6-9. Costos servicios públicos (dotación de empleados) .....	121
Tabla 6-10. Requerimientos proceso MCC-Ac.....	122
Tabla 6-11. Requerimientos proceso MCC-IL.....	122

Tabla 6-12. Requerimientos de materias primas en el proceso MCC-Ac .....	123
Tabla 6-13. Requerimientos de materias primas en el proceso MCC-IL.....	123
Tabla 6-14. Costo recolección residuos de flores .....	123
Tabla 6-15. Equipos y maquinarias para los procesos MCC-Ac y MCC-IL .....	124
Tabla 6-16. Costos de inversión de capital para plantas multipropósito.....	124
Tabla 6-17. Porcentajes típicos de valores de inversión de capital para plantas multipropósito .....	124
Tabla 6-18. Flujo de caja libre (FC) de los procesos MCC-Ac y MCC-IL.....	126
Tabla 6-19. Indicadores financieros por alternativas de proceso .....	127
Tabla 6-20. Comparación VPN y VAE.....	127
Tabla 6-21. Comparación B/C .....	128
Tabla 6-22. Comparación TIRM.....	128
Tabla 6-23. Sensibilidad del VPN en los procesos MCC-AC y MCC-IL.....	130
Tabla 6-24. Sensibilidad de la TIR en el proceso MCC-AC.....	131
Tabla 6-25 Sensibilidad de la TIR en el proceso MCC-IL .....	131
Tabla 6-26. Sensibilidad de la TIRM en el proceso MCC-AC .....	132
Tabla 6-27. Sensibilidad de la TIRM en el proceso MCC-IL.....	133
Tabla 6-28. Entradas y salidas al proceso de referencia MCC-Ac.....	138
Tabla 6-29. Entradas y Salidas al proceso alternativo MCC-IL .....	139
Tabla 6-30. Simulación de la producción del EMIM[AoC].....	139
Tabla 6-31. Análisis caracterización de impacto .....	140



## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 2-1. Estructura molecular de la celulosa .....	6
Figura 2-2. Celulosa microcristalina (MCC).....	11
Figura 2-3. Diagrama de flujo general del proceso de obtención de celulosa a partir de biomasa empleando LI.....	15
Figura 2-4. Elementos de un estudio de mercado .....	18
Figura 2-5. Concentración del mercado de exportaciones de celulosa .....	19
Figura 2-6. Concentración del mercado de importaciones de celulosa.....	20
Figura 2-7. Mercado de derivados químicos de celulosa .....	21
Figura 2-8. Aspectos de un estudio técnico-económico.....	23
Figura 2-9. Concepto de “Triple Bottom Line (TBL)” de sostenibilidad .....	27
Figura 2-10. Fases de un ACV según la norma ISO 1440 .....	28
Figura 2-11. Comparación de los impactos del ACV para cada método .....	31
Figura 2-12. Construcción de las jerarquías en el método AHP .....	32
Figura 2-13. Metodología de evaluación integrada.....	34
Figura 5-1. Esquema general metodológico.....	37
Figura 5-2. Entorno de la herramienta TRADE MAP para el producto 3912.90 .....	38
Figura 5-3. Entorno de Legiscomex para el producto 391290.....	40
Figura 5-4. Método acetosolv para obtención de MCC .....	44
Figura 5-5. Método acetosolv para obtención de MCC (sección a).....	45
Figura 5-6. Método acetosolv para obtención de MCC (Sección b).....	46
Figura 5-7. Método acetosolv para obtención de MCC (Sección c) .....	47
Figura 5-8. Método con EMIM[AoC] para obtención de MCC .....	49
Figura 5-9. Método con EMIM[AoC] para obtención de MCC (sección a).....	50
Figura 5-10. Método con EMIM[AoC] para obtención de MCC (sección b).....	51
Figura 5-11. Método con EMIM[AoC] para obtención de MCC (sección c).....	52
Figura 5-12. Entorno del software Total Decisión® .....	54
Figura 5-13. Modelo AHP para en análisis de micro localización en el software Total Decisión® ..	57
Figura 5-14. Matriz de ponderación de criterios .....	58
Figura 5-15. Entorno del software Total Decisión® para la valoración de alternativas por criterio ..	59
Figura 5-16. Entorno del software Total Decisión® resultados del modelo multicriterio.....	60
Figura 5-17. Entorno visual del software Total Decisión análisis de sensibilidad .....	61
Figura 5-18. Categorías de impacto que están cubiertas en la metodología ReCiPe2016.....	79
Figura 5-19. Modelo AHP para el análisis de la sostenibilidad integrada de las alternativas de los procesos MCC-Ac y MCC-IL.....	82
Figura 5-20. Matriz de ponderación de criterios .....	83
Figura 5-21. Entorno del software Total Decisión® para la valoración de alternativas por subcriterio	84
Figura 5-22. Entorno del software Total Decisión® para la valoración de alternativas con igual resultado.....	85
Figura 5-23. Entorno visual del software Total Decisión®, resultados del modelo multicriterio .....	86
Figura 5-24. Entorno visual del software Total Decisión®, gráficos del modelo multicriterio.....	87
Figura 5-25. Entorno del software Total Decisión análisis de sensibilidad .....	88
Figura 6-1. Exportaciones e Importaciones mundiales de MCC .....	89
Figura 6-2. Balanza comercial mercado internacional MCC.....	90

Figura 6-3. Países exportadores e importadores de MCC 2001-2019.....	91
Figura 6-4. Exportaciones e importaciones colombianas de MCC 2009-2030.....	93
Figura 6-5. Balanza comercial MCC en Colombia.....	94
Figura 6-6. Demanda o consumo aparente de MCC en Colombia.....	95
Figura 6-7. Proveedores de MCC en Colombia.....	95
Figura 6-8. Medios de comercialización de MCC en Colombia.....	96
Figura 6-9. Análisis de Precio Unitario (PU) de la MCC.....	97
Figura 6-10. Exportaciones e importaciones colombianas de excipientes farmacéuticos.....	99
Figura 6-11. Balanza comercial excipientes en Colombia.....	100
Figura 6-12. Producción de excipientes y empleo en Colombia.....	101
Figura 6-13. Demanda de excipientes en Colombia.....	102
Figura 6-14. Zonas productoras de flores en Colombia.....	109
Figura 6-15. Matriz de ponderación de criterios.....	110
Figura 6-16. Importancia de los criterios de selección.....	110
Figura 6-17. Alternativa de localización del proyecto de síntesis de MCC.....	111
Figura 6-18. Análisis de sensibilidad alternativas y criterios de evaluación.....	113
Figura 6-19. Formalización de actividad económica o industrial en Colombia.....	119
Figura 6-20. Comportamiento FC del proyecto para los procesos MCC-Ac y MCC-IL.....	126
Figura 6-21. Sistema de producto de síntesis de MCC empleando el método Acetosolv (MCC-Ac).....	134
Figura 6-22. Sistema de producto de síntesis de MCC empleando el método con líquidos iónicos (MCC-IL).....	135
Figura 6-23. Límite de los sistemas de producto estudiados.....	136
Figura 6-24. Selección del método de evaluación de impactos.....	137
Figura 6-25. Análisis de las dimensiones de sostenibilidad.....	141
Figura 6-26. Dimensiones de la sostenibilidad evaluadas.....	142
Figura 6-27. Sostenibilidad integrada de los procesos MCC-Ac y MCC-IL.....	143
Figura 6-28. Sensibilidad criterios de evaluación modelo AHP para análisis de sostenibilidad.....	144

### Siglas, símbolos, acrónimos y abreviaturas

<b>\$</b>	Símbolo monetario.
<b>ACV</b>	Análisis de Ciclo de Vida.
<b>AHP</b>	Proceso Analítico Jerárquico o por sus siglas en inglés (Analytic Hierarchy Process).
<b>B/C</b>	Beneficio/Costo.
<b>CIF</b>	Cost, Insurance and Freight, que en español significa “Coste, seguro y flete, puerto de destino convenido”.
<b>COP</b>	Código de divisa ISO 4217, de la unidad monetaria del peso colombiano.
<b>C<sub>RF</sub></b>	Coefficiente promedio de generación de residuos de flores ((t x ha/mes) o (t x ha/año)).
<b>d</b>	Diámetro.
<b>D<sub>v</sub></b>	Demanda o consumo aparente en valor monetario (USD).
<b>D<sub>w</sub></b>	Demanda o consumo aparente en peso neto (t).
<b>EICV</b>	Evaluación Impacto Ciclo de Vida.
<b>EMIM[AoC]</b>	Líquido iónico: 1-etil-3- metilimidazolium acetato (sinónimos: EMIM OAc, EMIM Ac, C1C2Im OAc, Im12 OAc, EMIM acetate).
<b>EUR</b>	Código de divisa ISO 4217, de la unidad monetaria europea (euro).
<b>FOB</b>	Free on board, que en español significa “Libre a bordo”.
<b>g</b>	Gramo.
<b>GC</b>	Grado de cristalinidad en la MCC.
<b>GJ</b>	Giga Julios.
<b>GP</b>	Grado de polimerización en la MCC.
<b>h</b>	Hora.
<b>ICV</b>	Inventario Ciclo de Vida.
<b>K</b>	Grados Kelvin de temperatura.
<b>kg</b>	Kilogramo.
<b>kW</b>	Kilo Watts
<b>l</b>	Litro.
<b>L</b>	Longitud.
<b>LI</b>	Líquido Iónico (IL Ionic Liquids en inglés).

<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado.
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico.
<b>MCC</b>	Microcrystalline cellulose, que en español significa “Celulosa microcristalina”.
<b>min</b>	Minutos.
<b>MSc</b>	Master of Science.
<b>Mv</b>	Importaciones en dólares (USD) CIF
<b>Mw</b>	Importaciones en toneladas (t).
<b>N/m<sup>2</sup></b>	Newton por metro cuadrado.
<b>NP</b>	Información no proporcionada o no descrita.
<b>NTC</b>	Norma Técnica Colombiana
<b>OMA</b>	Organización Mundial de Aduanas.
<b>PostDoc</b>	PostDoctor.
<b>Psi</b>	libras por pulgada cuadrada (pound per square inch, por sus siglas en inglés).
<b>PUa</b>	Precio Unitario promedio anual.
<b>Puma</b>	Precio Unitario promedio Multi-Anual.
<b>s</b>	Segundo
<b>SA</b>	Sistema Armonizado (HS por sus siglas en inglés Harmonized System)
<b>SWMD</b>	Diámetro medio ponderado en superficie.
<b>t</b>	Tonelada (1 t = 1.000 kg).
<b>TA</b>	Transporte aéreo.
<b>TIR</b>	Tasa Interna de Retorno (en inglés ROI (Return on investment)).
<b>TM</b>	Transporte marítimo
<b>TT</b>	Transporte terrestre.
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia.
<b>USD</b>	Código de divisa ISO 4217, de la unidad monetaria del dólar estadounidense.
<b>VPN</b>	Valor Presente Neto.
<b>Xv</b>	Exportaciones en dólares (USD) FOB.
<b>Xw</b>	Exportaciones en toneladas (t).
<b>Δ</b>	Símbolo del tamaño de los cristallitos.

## RESUMEN

La incorporación de Líquidos Iónicos (LI) en procesos de síntesis de celulosa se convierte en una alternativa valiosa en el ámbito de la sostenibilidad ambiental y económica, debido a que su uso permitiría reemplazar los solventes convencionales que se emplean actualmente en la industria química y que generan impactos ambientales negativos.

Este trabajo parte de los resultados obtenidos en la investigación desarrollada por Vásquez (2015) y Vásquez et al. (2019), en el grupo de investigación SIDCOP de la Universidad de Antioquia, donde se concluyó que, debido al alto potencial de rentabilidad económica, reducido impacto ambiental negativo y mínima exergía destruida, el proceso de obtención de celulosa (celulosa microcristalina (MCC)) a partir de residuos de flores y el uso del LI: 1-etil-3- metilimidazolium acetato (EMIM[AoC]), fue la alternativa más atractiva entre las evaluadas. Sin embargo, la incorporación de los LI en procesos a escala industrial es aún limitada porque no existen estudios que evalúen la viabilidad técnica – financiera de la incorporación de estas sustancias en la producción de celulosa y tampoco existen indicadores de base científica que permitan tomar decisiones en un contexto ambiental.

En esta investigación se evaluó la sostenibilidad de un proyecto a escala industrial de síntesis de celulosa, que utiliza en su proceso el uso del LI: EMIM[AoC] y residuos agroindustriales de flores como biomasa, en comparación con un proceso convencional denominado Acetosolv. Inicialmente se desarrolló un estudio de mercado que permitió identificar la demanda de MCC en un contexto internacional y de Colombia. Posteriormente, se ejecutó un estudio técnico conformado por una simulación en el software ASPEN PLUS<sup>®</sup> de los procesos a comparar, lo que permitió identificar flujos de materia y energía en los escenarios estudiados, así como un dimensionamiento inicial de equipos. También, se realizó un análisis de localización por medio del método multicriterio denominado Proceso Analítico Jerárquico (AHP), utilizando el software “Total Decision<sup>®</sup>”, además, se hizo un análisis normativo y legal.

A partir de los resultados obtenidos en los estudios anteriormente mencionados, se desarrolló un estudio económico por medio de una formulación de proyectos a nivel de prefactibilidad y una evaluación financiera. Así mismo, con los resultados arrojados en las simulaciones industriales se desarrolló un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en el software SimaPro<sup>®</sup>, con un alcance “de la puerta a la puerta” para los procesos a comparar.

Para la evaluación de la sostenibilidad se propone una metodología basada también en el método AHP, que permite integrar los resultados de los indicadores obtenidos de la evaluación financiera a nivel de prefactibilidad (VPN, TIR, CAUE, TIRM, VFN y B/C) y los indicadores ambientales obtenidos de la evaluación del impacto ambiental por medio de la metodología ReCipe del ACV desarrollado.

Finalmente, se concluye que el proceso denominado MCC-IL (proceso de síntesis de MCC que emplea como solvente el LI EMIM[AoC]) genera una mayor sostenibilidad con respecto al proceso MCC-Ac (proceso convencional que emplea como solvente el ácido acético), dado que muestra un mejor comportamiento en las dimensiones ambiental, económica y de salud y seguridad humana, por tener un mayor porcentaje relativo luego de aplicado el AHP a las variables estudiadas.

*Palabras Claves: Sostenibilidad, Análisis de Ciclo de Vida, Proceso Analítico Jerárquico (AHP), líquidos iónicos, celulosa microcristalina.*

## ABSTRACT

The addition of Ionic Liquids (IL) in cellulose synthesis processes is a valuable alternative in the field of environmental and economic sustainability, its use would allow replacing the conventional solvents that are currently used in the chemical industry and that generate environmental impacts.

The present work is based on the results obtained in the research developed by Vásquez (2015) and Vasquez et al. (2019), in the SIDCOP research group of the University of Antioquia, where it was concluded that due to high potential for economic profitability, reduced negative environmental impact, and minimal exergy destroyed, the process of obtaining cellulose (microcrystalline cellulose [MCC]) from flower residues and the use of IL: 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate (EMIM[AoC]), was the most promising alternative between the evaluated ones. However, the incorporation of IL in industrial scale processes is still limited because there are no studies that evaluate the technical-financial viability of the adding of these substances in cellulose production and there are no scientifically based metrics that allow decision making in an environmental context.

In this research, the sustainability of an industrial-scale cellulose synthesis project was evaluated, which adds to its process the IL: EMIM[AoC] and agro-industrial residues of flowers as biomass in comparison with the conventional process called Acetosolv, through the initial development of a market study that allows identifying the demand for the MCC in an international and Colombian context. Subsequently, a technical study was carried out using a simulation in the ASPEN PLUS<sup>®</sup> software of the processes to be compared, which allowed the identification of material and energy flows in the studied scenarios. Also, a location analysis was carried out by the multi-criteria method Hierarchical Analytical Process (AHP), using the “Total Decision<sup>®</sup>” software, in addition to a normative and legal analysis was carried out too.

Using the results obtained in the previously mentioned studies, an economic study was developed, through the formulation of projects at the pre-feasibility level and a financial evaluation. In addition, with the results obtained in the industrial simulations, a Life Cycle Assessment was developed in the SimaPro<sup>®</sup> software, with a scope “from door to door”, for the processes to be compared.

For the evaluation of sustainability, a methodology based on the AHP method was proposed, which allows integrating the results of the metrics obtained from the financial evaluation at the pre-feasibility level (NPV, ROI, PMT, MIRR, FV y CBR), and the environmental metrics obtained from the environmental impact assessment through the LCA ReCipe methodology developed.

Finally, it is concluded that the MCC-IL process (MCC synthesis process that uses IL EMIM [AoC] as solvent) is the one that generates sustainability with respect to the MCC-Ac process (conventional process that uses acetic acid as solvent), due to that it presents a better performance in the environmental, economic and human health and safety dimensions, as it presents a higher relative percentage after applying the AHP to the variables studied.

*Keywords: Sustainability, Life Cycle Assessment, Hierarchical Analytical Process (AHP), ionic liquids, microcrystalline cellulose.*

## 1 INTRODUCCIÓN

La celulosa es un polímero orgánico que en la naturaleza se encuentra en abundancia porque forma parte de la biomasa lignocelulósica junto con la lignina y la hemicelulosa, siendo un componente principal de la pared celular vegetal de las plantas. También, es posible encontrarla en algas, bacterias, hongos y animales marinos (Coscia et al., 2018; Baghel, C. R. K Reddy & Singh, 2021). La mayoría de estos materiales lignocelulósicos son residuos de otros procesos industriales o actividades agrícolas; por lo tanto, es razonable considerarlos económicos y disponibles en grandes cantidades (Ventura-Cruz & Tecante, 2021).

Así mismo, este polímero y sus derivados como los ésteres y éteres de celulosa, la fibra de celulosa, la celulosa microcristalina y la nanocelulosa, son utilizados en diferentes productos como es el caso del papel, el cartón y textiles elaborados a partir de algodón, lino y otras fibras vegetales (Kuutti, 2013). Otras de las aplicaciones donde la celulosa es usada, corresponden a: recubrimientos, pinturas, películas flexibles, filtros y membranas, espesantes para alimentos, fármacos y cosméticos (Isik et al., 2014; Vásquez, 2015; Baghel et al., 2021); además, existen aplicaciones en medicina, como tratamientos dentales, de piel y cardiovasculares (Bhat et al., 2018); por lo tanto, la celulosa es un polímero altamente demandado, con una producción anual estimada de 180.000.000 t (Sundarraj & Ranganathan, 2018, Baghel et al., 2021).

Actualmente existen diferentes procesos químicos convencionales para sintetizar celulosa, los cuales corresponden a los métodos denominados “*kraft*, *viscosa*, *sulfito*, *organosolv* y *acetosolv*”. Estas técnicas requieren para su desarrollo del uso de sustancias tales como solventes orgánicos, ácidos, bases, complejos metálicos, que tienen la función de degradar la biomasa lignocelulósica en sus componentes principales<sup>1</sup> (Heinze & Koschella, 2005; Baghel et al., 2021). Estos procesos industriales pueden causar afectaciones a la salud humana, como es el caso de enfermedades al sistema respiratorio, sanguíneo y nervioso central; además, causar impactos negativos al medio ambiente por los efectos de vertimientos de aguas contaminadas, generación de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y emisiones atmosféricas que pueden desencadenar en subproductos fotoquímicos como el ozono, compuestos carboxílicos y aerosoles orgánicos secundarios (Sahu et al., 2014; Vo, 2018; Baktirzi et al., 2016; Verma et al., 2019; Benvenuti et al., 2019; Baghel et al., 2021).

Debido al contexto actual y las problemáticas descritas anteriormente, asociadas con los procesos usados actualmente en la industria química para disolver y sintetizar celulosa, se requiere buscar soluciones enfocadas en la utilización de solventes ecológicos y eficientes. Es entonces que, en las dos últimas décadas, los Líquidos Iónicos (LI) han emergido como solventes efectivos y verdes por presentar propiedades como un bajo punto de fusión, no descomponer la celulosa, no ser tóxicos y permitir ser reciclados en los procesos químicos (Mäki-Arvela et al., 2010 y Isik et al., 2014). Sin embargo, a pesar de sus valiosos atributos, la incorporación de los LI en procesos industriales a gran escala es aún limitada, esto se debe a que no se han realizado estudios detallados donde se evalúe la viabilidad técnica - financiera, ni los impactos sociales y ambientales que conllevarían la incorporación de estas sustancias en la producción de celulosa (Vásquez, 2015), ni tampoco se cuenta con indicadores medibles de base científica que permitan tomar decisiones en un contexto ambiental.

De esta manera, en un modelo de desarrollo sostenible para proyectos, es importante promover la implementación de tecnologías o el desarrollo de procesos que generen menos impactos negativos

---

<sup>1</sup> La biomasa lignocelulósica se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina.

en el ámbito ambiental, económico-financiero y social. Por lo anterior, la utilización de LI, se convierte en una alternativa para mejorar la sostenibilidad de los procesos industriales en la síntesis de celulosa, a partir del uso de diferentes biomásas, lo que requiere que la industria reevalúe el uso de solventes convencionales.

Este trabajo parte de los resultados y conclusiones obtenidas de la investigación desarrollada por Vásquez (2015 y 2019), donde se buscó dilucidar el verdadero potencial de los LI como solventes verdes, para obtener celulosa a partir de diversas biomásas. Para tal efecto, se realizó la selección de biomásas lignocelulósicas, disponibles en Colombia y con potencial para ser implementadas en proceso de obtención de celulosa. Se determinaron como las biomásas más adecuadas: el aserrín de madera, los residuos de flores, la cascarilla de arroz y el bagazo de caña atendiendo a criterios como la disponibilidad a nivel local, el porcentaje de celulosa disponible y los usos actuales de las mismas.

Posteriormente, para cada una de las biomásas seleccionadas, se simularon los procesos químicos en el software ASPEN PLUS<sup>®</sup> empleando como solventes alternativos los líquidos iónicos: 1-butil-3-metilimidazolium cloruro (BmimCl), el 1-etil-3- metilimidazolium acetato (EMIM[AoC]) y el LI reversible 1,8-diazabicyclo [5.4.0] undec-7-ene carboxylate [DBUH]<sup>+</sup>[RCO<sub>3</sub>]<sup>-</sup>. Cada uno de estos procesos se comparó con una simulación de línea base correspondiente al proceso convencional denominado acetosolv. Cada uno de los procesos sintetizados estuvo orientado al mercado de celulosas especiales y se escogió la celulosa microcristalina (MCC) de 20 μm como el producto de referencia para el análisis de potencial de ganancias económicas. Se concluyó en el trabajo de Vásquez (2015 y 2019), que debido al alto potencial de rentabilidad económica, reducido impacto ambiental negativo y mínima exergía destruida, el proceso de obtención de celulosa (celulosa microcristalina (MCC)) a partir de residuos de flores y el uso del LI: 1-etil-3- metilimidazolium acetato (EMIM[AoC]) fue la alternativa más atractiva entre las evaluadas. Sin embargo, la incorporación de los LI en procesos a escala industrial es aún limitada, porque no existen estudios que evalúen la viabilidad técnica – financiera de la incorporación de estas sustancias en la producción de celulosa y tampoco existen indicadores medibles de base científica que permitan tomar decisiones en un contexto ambiental.

Por lo tanto, en esta investigación se evalúa la sostenibilidad de un proyecto a escala industrial de síntesis de celulosa, que utiliza en su proceso el uso del LI: EMIM[AoC] y residuos agroindustriales de flores como biomasa, en comparación con el proceso convencional Acetosolv. Esta evaluación se realiza en el ámbito socio-ambiental y financiero; por medio del desarrollo de un estudio de mercado que permite identificar la demanda y oferta de la MCC en un contexto internacional y colombiano. Posteriormente, se ejecutó un estudio técnico conformado por una simulación en el software ASPEN PLUS<sup>®</sup> de los procesos a comparar con datos a escala industrial, lo que permitió identificar flujos de materia y energía en los escenarios estudiados. Luego, se realizó un análisis de localización por medio del método multicriterio denominado Proceso Analítico Jerárquico (AHP), utilizando el software “Total Decision<sup>®</sup>”; se hizo un análisis normativo y legal en el marco del desarrollo de una industria productiva de MCC y se consolidó una formulación de proyectos a nivel de prefactibilidad y una evaluación financiera. Con respecto a la temática ambiental se desarrolló un Análisis de Ciclo de Vida bajo la norma ISO 14040, con un alcance “de la puerta a la puerta”; para los procesos a comparar y utilizando el software SimaPro<sup>®</sup>.



Finalmente, para la evaluación de la sostenibilidad, se propone una metodología basada también el método AHP con datos cuantitativos, que permite integrar los resultados de los indicadores obtenidos de la evaluación financiera a nivel de prefactibilidad (VPN, TIR, CAUE, TIRM, VFN y B/C) y los indicadores ambientales obtenidos de la evaluación del impacto ambiental por medio de la metodología ReCipe del ACV desarrollado.

Por consiguiente, se formula la siguiente pregunta: En términos de viabilidad financiera y Ambiental; ¿Qué tan sostenible es el desarrollo de un proyecto a escala industrial que sintetiza celulosa mediante el uso de líquidos iónicos (EMIM[AoC]) y residuos agroindustriales de flores?

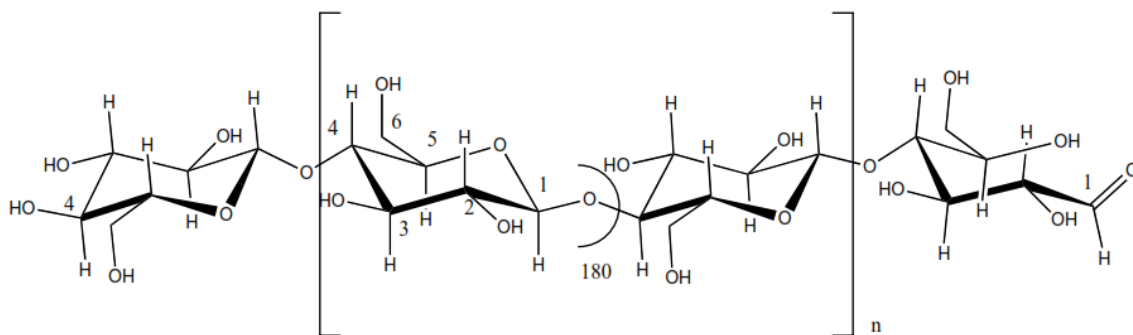
## 2 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

El marco teórico y el estado del arte que se desarrollará a continuación, permitirá conocer los conceptos teóricos básicos para comprender la importancia y la forma en que se desarrolló este proyecto investigativo.

### 2.1 ASPECTOS GENERALES DE LA CELULOSA

La celulosa es una materia prima renovable que se obtiene a escala industrial y que está presente en la biomasa terrestre, siendo uno de los componentes principales de la pared celular vegetal de las plantas. También, es posible encontrar celulosa en algas, bacterias, hongos y animales marinos (Coscia et al., 2018; Baghel, C. R. K Reddy & Singh, 2021). Su estructura química corresponde a un biopolímero lineal de unidades de glucosa (Figura 2-1), que se encuentra en la pared de las células vegetales (Klemm et al., 2018). Generalmente, la celulosa se encuentra combinada con sustancias como la lignina, hemicelulosa, pectinas y ácidos grasos que, a su vez, hacen parte de la biomasa de cualquier fuente vegetal y su estructura molecular se representa en la Figura 2-1.

*Figura 2-1. Estructura molecular de la celulosa*



*Nota.* Fuente: Granström (2009).

#### 2.1.1 Biomasa lignocelulósica para la síntesis de celulosa

La obtención de masas fibrosas o pulpas de celulosa se hace a partir de biomasa lignocelulósica (Sixta, Potthast, & Krotschek, 2006). La biomasa lignocelulósica es un material disponible en el planeta tierra y el cual hace referencia a la materia que puede ser obtenida, directa o indirectamente, a partir de cualquier fuente vegetal y que puede ser utilizada como fuente de energía o materia prima en cantidades sustanciales.

El promedio de producción aproximado de biomasa lignocelulósica es de  $200 \times 10^9$  t/año (Kumar, 2020). Químicamente, la biomasa lignocelulósica se conforma en promedio por celulosa (40-80%), hemicelulosa (10-40%) y lignina (5-25%) (Dietrich, 2019). La biomasa lignocelulósica se encuentra principalmente en residuos agrícolas y forestales; específicamente en hojas, brotes, tallos, paja de cereales, pasto, poda de vid, raíces, cáscaras de frutas, troncos, ramas y raíces (Ventura-Cruz & Tecante, 2021; Debnath, Haldar & Purkait, 2021).

Según la revisión realizada por Kumar (2020), en la Tabla 2-1 se muestra la clasificación de la biomasa lignocelulósica y los porcentajes de composición.

Tabla 2-1. Clasificación de la biomasa lignocelulósica y su composición

Clasificación de biomasa lignocelulósica	Tipos de biomasa	Nombre de la biomasa	Composición de biomasa lignocelulósica		
			Lignina (%)	Hemicelulosa (%)	Celulosa (%)
Residuos forestales	Madera dura	Poda de acacia	32	13	49
		Sicómoro americano	25,0–27,3	17,6–19,6	37,2–41,8
		Aliso	23,3	20,6	45,5
		Álamo temblón	19,5	21,7	52,7
		Madera de haya	21	23	40
		Algarrobo negro	24,4–28,6	16,6–18,9	39,3–42,6
		madera de cereza	18 años	29	46
		Eucalipto	26,9–28,2	12,7–14,4	46,6–50,3
		Cedro rojo oriental	8,5	35,9	40,3
		Álamo híbrido	15,5–16,3	16,6–22,6	40,3–47,3
	Madera blanda	Haya japonesa	24	28,4	43,9
		Roble	35,4	21,9	43,2
		Álamo	29,1	14,8	39,8
		Madera de caucho	27,58	28,42	39,56
		Sauce	16,9–18,9	20,6–22,9	42,4–45,3
		Pino	20	24,0–27,0	42,0–50,0
		Cedro rojo oriental	35,9	17,9	40,3
		Abeto	30	22	45
		Abeto	27,9	22,9	45,5
		Cedro japonés	33,5	13,8	52,7
Hemlocks	28,5	22	47,5		
<i>Pinus armandii</i> Franch	24,1	17,8	48,4		
Agroresiduos	Cultivos alimenticios	Paja de cebada	6,3–13,1	24,0–33,0	36,0–43,0
		Casco de cebada	13,8–19,0	36	34
		Mazorcas de maíz	6,1–15,9	31,9–36,0	33,7–41,2
		Tallos de maíz	7,0–18,4	16,8–35,0	35,0–39,6 6
		Stover de maíz	16,7–21,8	19,1–28,9	30,6–43,9
		Orujo de oliva extraído	40	22	19
		Tallo de cáñamo	17	25	52
		topinambur	5,1–5,7	4,5–5,4	20,9–25,9
		Maíz	4,80	19,5	30,3
		Paja de avena	10,0–15,0	20,0–26,0	31,0–35,0
		Fronda de aceite de palma	26,05	31,89	37,32
		Paja de rayo	9,9–24,0	19,0–24,5	36,0–47,0
		Cáscaras de arroz	15,4–26,0	12,0–29,3	28,7–40,0
Paja de arroz	17,0–26,4	23,0–31,1	29,2–38,1		
Tallos de soya	19,8	24,8	34,5		
Girasol	7,72–13,4	5,18–29,7	34,1–42,1		

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Clasificación de biomasa lignocelulósica	Tipos de biomasa	Nombre de la biomasa	Composición de biomasa lignocelulósica			
			Lignina (%)	Hemicelulosa (%)	Celulosa (%)	
Cultivos herbáceos		Paja de sorgo	15,0–21,0	24,0–27,0	32,0–35,0	
		Bagazo de sorgo	3,9	35,5	44,4	
		Bagazo de caña de azúcar	23,1–27,6	12,2–25,5	31,9–43,4	
		Paja de trigo	12,0–16,0	23,0–30,0	35,0–39,0	
	Cultivos no alimenticios	Tallo de algodón	13	16	67	
		Desmotadora de algodón	17,6	9,1	20	
		Ramas de avellana	19,9	15,9	30,8	
		Miscanto	20,0–25,0	16,0–20,0	35,0–40,0	
		Chuletas de tabaco	15-25-25,0	15,0–20,0	22,0–30,0	
	Cultivos herbáceos	Pastos	Bambú	25,7	18,8	46,5
			Hojas de bambú	35	25,6	34,14
			Tallo azul grande	17,1–23,8	20,5–25,8	29,0–37,2
			Bermudas costeras	6,4	35,7	25
			Hierba ensilada	9,7	27,3	37,9
			Hierba india	6,7	43,1	49,8
Hierba de huerto			6,6	42,9	52,3	
Centeno			6,5	27,9	42,38	
Junco			8,7	31,5	49,4	
Hierba lisa de brome			7,6	41,9	49,8	
Sericea lespedeza			24,1–31,9	15,7–19,4	32,7–39,4	
Switchgrass			13,2–22,5	22,4–28,8	26,8–37,5	
Szarvasi-1			9,65	27,33	37,85	
Festuca alta			10,9–14,8	18,2–20,4	23,4–26,4	
Cultivos herbáceos			Malas hierbas	Tallo de hierba Crofton	16,4	22,4
	<i>Codorata</i> (hierba de siam)	20,7		17,3	41	
	<i>Eichhornia crassipes</i>	3,5		48,7	18,2	
	<i>Lantana camara</i>	27,3		17	45,1	
	<i>Prosopis juliflora</i>	24,7		20,38	45,5	
	<i>Saccharum spontaneum</i>	24,4		22,8	45,1	
Residuos	Residuos industriales / municipales	Residuo entero de agave	16,9	16,9	30,7	
		Lodos de celulosa	15,3	9,8	31,4	
		Periódico	18-30	25-40	40-55	
	Desechos alimentarios	Estiércol sólido para ganado	1,4–3,3	2,7–5,7	1,6–4,7	
		Cáscara de almendra	36	30	27	
		Granos gastados de cervecería	16,9–27,8	19,2–29,6	16,8–26,0	
		Residuos de plátano	14	14,8	13,2	

Clasificación de biomasa lignocelulósica	Tipos de biomasa	Nombre de la biomasa	Composición de biomasa lignocelulósica		
			Lignina (%)	Hemicelulosa (%)	Celulosa (%)
		Fibra de coco	32,8	22,1	44,2
		Granos de café	22,2–25,6	37,2–41,0	11,6–33,1
		Cáscara de maní	28	18,7	37
		Cáscara de avellana	38	23	30
		Cáscara de piñón	38	25	31
		Cáscara de pistacho	29,4	38,2	15,2
		Fibras de calabaza esponja	15,5	17,4	66,6
		cáscara de nuez	53,5	20,4	23,3

*Nota.* Adaptado de Kumar (2020).

Es importante destacar que los desechos agrícolas se generan con una tasa de aumento anual promedio del 5-10% y a la cual se le atribuyen impactos ambientales negativos, ya que la eliminación aleatoria o la quema de estos desechos conducen a la contaminación del componente acuático, el suelo y el aire. Por lo tanto, se requiere de la utilización adecuada de la biomasa residual, a través de la conversión y valorización de alta demanda, para controlar sus efectos nocivos sobre el medio ambiente (Wang et al., 2016).

### 2.1.2 Celulosa y derivados

La celulosa es un material que atrae la atención tanto de la comunidad científica e industrial, puesto que presenta características tales como un bajo peso, no es tóxica, posee resistencia mecánica, es de naturaleza hidrófila e higroscópica, presenta biodegradabilidad y reciclabilidad; haciéndola adecuada para diversas aplicaciones comerciales (Baghel et al., 2021). Adicionalmente, la celulosa es un recurso renovable abundante, de bajo costo y que cuenta con una línea base sólida de conocimiento científico para su obtención y uso.

Como se describió anteriormente, la utilización de biomasa lignocelulósica proveniente de residuos agroindustriales o forestales para la obtención de celulosa y derivados constituye un enfoque sostenible, debido a que no compete con la producción de alimentos (Mohammed, Kabbashi y Alade, 2018, como se citó en Debnath et al., 2021).

Entre los derivados de celulosa se encuentran: los ésteres y éteres de celulosa, la fibra de celulosa, la celulosa microcristalina y la nanocelulosa; siendo estos dos últimos los más comunes y ampliamente utilizados (Ventura-Cruz & Tecante, 2021). Estos tipos de celulosa son utilizados en diferentes productos comerciales como es el caso del papel, el cartón y de textiles elaborados a partir de algodón, lino y otras fibras vegetales (Kuutti, 2013). Otras de las aplicaciones donde la celulosa es usada corresponden a: recubrimientos, pinturas, películas flexibles, filtros y membranas, espesantes para construcción y alimentos, fármacos y cosméticos (Isik et al., 2014; Vásquez, 2015; Baghel et al., 2021); además, existen aplicaciones en medicina, como tratamientos dentales, de piel y cardiovasculares (Bhat et al., 2018), entre muchos otros. Por este motivo, la celulosa es un polímero altamente demandado dependiendo de su uso o aplicación en el mercado, lo que ha llevado a que existan diferentes tipos o presentaciones para esta sustancia.

El presente trabajo de investigación está orientado al análisis de sostenibilidad enfocado en aspectos económicos y ambientales para la obtención de celulosa microcristalina (MCC), esto sin dejar a un lado las aplicaciones convencionales de la celulosa.

### **2.1.2.1 Celulosa microcristalina (MCC)**

La MCC es una materia prima natural de valor agregado, sintetizada a partir de celulosa purificada, la cual se obtiene de biomasa lignocelulósica. La MCC contiene molecularmente regiones cristalinas y amorfas, la hidrólisis parcial de estas últimas da como resultado la formación de MCC (Figura 2-2). El MCC es un polvo fino, blanco, inodoro, cristalino, que tiene un diámetro alrededor de 50  $\mu\text{m}$  y una longitud en el rango de 100 a 1000  $\mu\text{m}$  (Ventura-Cruz & Tecante, 2021).

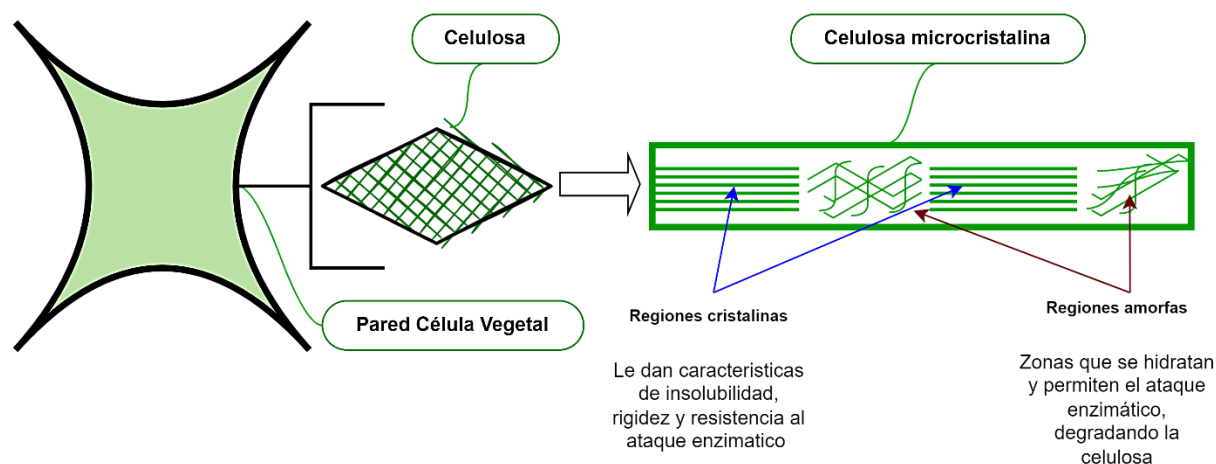
Entre las propiedades de la MCC se identifica la biodegradabilidad, biocompatibilidad, no toxicidad, gran área de superficie y alta resistencia mecánica que la convierte en una sustancia con aplicación en diversos campos. Una de las características estructurales con mayor relevancia de la MCC, corresponde al grado de cristalinidad, la cual permite identificar la estabilidad mecánica y térmica del producto final; en donde una mayor cristalinidad indica la eliminación de las regiones amorfas de la celulosa nativa de la biomasa fuente. Otra característica estructural de los derivados de celulosa es el grado de polimerización (GP), la cual se define como el número de unidades monoméricas repetidas en el polímero. El GP y su distribución indica la calidad del MCC y puede afectar la eficiencia en la hidrólisis de la biomasa, la solubilidad de la celulosa en un solvente particular y también las propiedades mecánicas de los compuestos preparados con MCC (Debnath et al., 2021).

La MCC en su forma en polvo se utiliza como aglutinante o adsorbente en aplicaciones farmacéuticas; así mismo, como excipiente<sup>2</sup> en la producción de tabletas médicas. En su forma coloidal se utiliza como estabilizador de suspensión, retenedor de agua, regulador de viscosidad y emulsificante en diferentes alimentos preparados, pastas y cremas. La MCC también es un ingrediente utilizado en bebidas como agente gelificante, estabilizador, agentes antiaglomerante y de suspensión; en productos cosméticos es utilizada como sucedáneo de grasas, espesantes, aglutinantes (Trache et al., 2016; Ventura-Cruz, Flores-Alamo & Tecante, 2020; Ventura-Cruz & Tecante, 2021).

---

<sup>2</sup> Excipiente: Aplicable a los medicamentos y las preparaciones farmacéuticas a base de recursos naturales. Es aquel compuesto puesto mezcla de compuestos que las concentraciones presentes en una forma farmacéutica, no presenta actividad farmacológica significativa. El excipiente sirve para dar forma, tamaño y volumen a un producto y para comunicarle estabilidad, biodisponibilidad, aceptabilidad y facilidad de administración de uno o más principios activos. En la medida en que los excipientes afectan la liberación del principio activo, ellos pueden afectar la actividad farmacológica del producto a través de cambios en su biodisponibilidad. (Resolución 677, 1995).

Figura 2-2. Celulosa microcristalina (MCC)



Nota. Adaptado de Ventura-Cruz & Tecante (2021).

Los investigadores Battista y Smith (1962), descubrieron la MCC desintegrando mecánicamente la celulosa de rayón hidrolizado durante 15 minutos para obtener así partículas pequeñas. Ellos plantearon la hipótesis de que las afiladas cuchillas de una licuadora doméstica dividirían las partículas en pequeños fragmentos de los microcristales aglomerados de celulosa hidrolizada; sin embargo, se obtuvo una suspensión coloidal estable de celulosa microcristalina, que se conoce comercialmente como Avicel (Ventura-Cruz & Tecante, 2021).

La producción industrial de MCC se realiza convencionalmente mediante hidrólisis con ácidos diluidos, como es el caso del HCl (ácido clorhídrico) y el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico), utilizando como biomasa lignocelulósica convencional el algodón y la madera. Adicionalmente, este proceso de síntesis se caracteriza por proporcionar un grado de cristalinidad entre 50% a 80%, que se considera alta (Haafiz, Eichhorn, Hassan y Jawaid, 2013; Trache et al., 2016; Ventura-Cruz & Tecante, 2021). Adicionalmente, en la literatura se encuentran otras experiencias exitosas de síntesis de MCC a partir de residuos agrícolas y subproductos generados en diferentes procesos agroindustriales (Tabla 2-2).

Tabla 2-2. Experiencias en la obtención de MCC

Biomasa lignocelulósica	Condiciones	Y (%)	GC (%)	Tamaño (nm)	Aplicaciones	Cita
Hojas de palma de aceite	13 ml / g de HCl a 45 ° C, 30 min	NP	62	d = 7,55 ± 2,79	NP	Owolabi et al. (2017)
Tallos de rosas	5% NaOH, 16% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 55°C, 90 min	NP	70,2	d = 9400 ± 3500	Agente reforzante en matrices poliméricas	Ventura-Cruz & Tecante (2020)
Fibra de tallo de olivo	HCl 2,5 M 80 ° C, 30 min	NP	74,2	DMPS = 29790	Agente reforzante para la fabricación de polímeros	Kian et al. (2020)
Fibras de roselle	2,5 mol / L de HCl 85 ° C, 30 min	NP	78	NG	Elemento de refuerzo en composites y precursor de nanocelulosa	Kian et al. (2017)
Semillas de dátiles ( <i>Phoenix dactylifera</i> L.)	HCl 2,5 N 105 ° C, 45 min	12,51	70	L = 100000-300000	Polímeros, bionanocompuestos farmacéuticos	Abu-Thabit et al. (2020)
Cáscara de pomelo	6% en peso de HCl 90 ° C, 100 min	NP	41	NP	Estabilizador de alimentos y aditivo farmacéutico	Liu et al. (2018)

Biomasa lignocelulósica	Condiciones	Y (%)	GC (%)	Tamaño (nm)	Aplicaciones	Cita
<i>Posidonia oceánica</i>	HCl 2,5 N 100 ° C, 30 min	23	74	L = 52200 ± 8300 d = 8400 ± 2100	Varias aplicaciones	Tarchoun, Trache & Klapötke (2019)
Elote (Choclo de maíz)	1 mol / L de HCl 90 ° C, 60 min	41,9	53	d = 83340	NP	Shao et al. (2020)
Bagazo de caña de azúcar	1 NH 2 SO 4 70 ° C, 120 min 20% en peso de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 70 ° C, 180 min	NP	84	L <sub>002</sub> = 2,26 <sup>a</sup>	NP	Katakojwala & Mohan (2020)

<sup>a</sup>: Se refiere al tamaño de los cristales, GC: Grado de cristalinidad; L = longitud; d = diámetro; DMPS = Diámetro medio ponderado en superficie; NP = no proporcionado.

Nota. Adaptado de Ventura-Cruz & Tecante (2021).

Como señala Ventura-Cruz & Tecante (2021a), la búsqueda de procesos apropiados que permitan obtener derivados de celulosa con propiedades adecuadas con múltiples aplicaciones, es un tema de estudio actual en la comunidad científica, sumado al objetivo de optimizar estos procesos desde la viabilidad económica y ambiental.

## 2.2 ASPECTOS GENERALES DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA

### 2.2.1 Procesos convencionales para la síntesis de celulosa y MCC

El proceso que permite la obtención de masas fibrosas o pulpas a partir de biomasa lignocelulósica, se denomina pulpeo o síntesis de celulosa; en donde por medio de procesos mecánicos, químicos o la combinación de ambas, se realiza la separación de la barrera de lignina externa, para la exposición de la celulosa y la hemicelulosa. El tratamiento químico mejora la resistencia y la geometría de la superficie de las fibras, mientras que el tratamiento físico conduce principalmente a la reducción del tamaño y al aumento del área superficial de la biomasa lignocelulósica, manifestando disminución del GP. El pretratamiento físico se realiza convencionalmente mediante técnicas de plasma no térmico, ultrasonido, microondas y trituración mecánica como molienda, astillado y trituración (Debnath et al., 2021).

En la industria existen diferentes tecnologías convencionales de pulpeo celulosa por medio de procesos químicos como es el kraft, viscosa, sulfito, organosolv y acetosolv; en los cuales se utilizan solventes como los ácidos (ácido sulfúrico y ácido trifluoroacético), las bases (hidróxido de potasio), los complejos metálicos (hidróxido de cupramonio (cuam) y etilendiamina quelato de cadmio (cadoxen)) y reactivos (xantato y trifluoroacetato) (Heinze & Koschella, 2005).

Posteriormente, se puede obtener MCC por medio de un tratamiento de hidrólisis ácida que convencionalmente se realiza con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico) en concentraciones de 62-64 % p/p, en donde la materia prima celulósica se despolimeriza y la parte amorfa de la celulosa y la hemicelulosa se degrada y disuelve. Este tratamiento en el contexto comercial es el que utilizan las empresas actualmente (Ventura-Cruz & Tecante, 2021; Debnath et al., 2021).

El uso de solventes convencionales muestra toxicidad, volatilidad e inflamabilidad (Bakirtzi et al., 2016; Benvenuti et al., 2019); por lo tanto, son potencialmente perjudiciales para el medio ambiente, el operador y la salud del consumidor (Verma et al., 2019 y Benvenuti et al., 2019). En general, entre los problemas relevantes del uso de solventes en las industrias química y farmacéutica



fina, es la generación de desechos acuosos por año los cuales están contaminados con solventes orgánicos (Zhou, 2019).

Durante el pulpeo de celulosa y sus derivados, se generan Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) provenientes de la evaporación de los solventes orgánicos convencionales (Sixta, 2006 & Coscia et al., 2018). Estos compuestos son tóxicos y causan enfermedades al sistemas respiratorio, sanguíneo y nervioso central (Vo, 2018). Adicionalmente, los COV son los precursores de otros sub-productos fotoquímicos tóxicos, incluidos el ozono y los aerosoles orgánicos secundarios, (Sahu et al., 2014). Las reacciones que involucran COV y NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno) en la atmosfera, bajo radiación solar, conducen a la formación de ozono y una variedad de compuestos carboxílicos; la formación de ozono en la superficie debido a las altas concentraciones de precursores de ozono es un grave problema de contaminación del aire en áreas industrializadas (Vo, 2018).

Sumado a lo anterior, el tratamiento tradicional para obtener MCC no tiene recuperación de productos químicos y utiliza tiempos de retención prolongados con dosis químicas moderadas y baja consistencia operativa. Debido a estos hechos, un proceso convencional produce una gran cantidad de aguas residuales con baja concentración de azúcares (monómeros), lo que exige grandes cantidades de agente neutralizante antes de que pueda ser introducido en una planta de tratamiento de aguas residuales municipal (Husgafvel, et al., 2016).

Es entonces que la optimización de los métodos para obtener celulosa y sus derivados se centra en los parámetros del proceso correspondientes a temperatura, concentración, tiempos de reacción, diferentes tipos de álcalis, ácidos, agentes blanqueadores y líquidos iónicos. Este análisis es necesario para determinar la viabilidad económica y la escalabilidad de estos procesos de múltiples etapas (Ventura-Cruz & Tecante, 2021).

### 2.2.2 Proceso Organosolv para la síntesis de celulosa

En la actualidad, la tecnología organosolv para deslignificar biomasa mediante el uso de solventes orgánicos libres de compuestos azufrados, es empleada a escala industrial para la obtención de pulpa de celulosa y papel (Vásquez, 2015). Dependiendo del ácido utilizado como catalizador o la concentración del solvente orgánico el nombre del proceso puede sufrir algunos cambios, como se listan a continuación:

- **Proceso acetosolv:** proceso organosolv con ácido acético concentrado
- **Proceso acetocell:** proceso organosolv con ácido acético diluido
- **Proceso formacell:** proceso organosolv con ácido fórmico

Según los estudios de simulación computacional con ASPEN PLUS<sup>®</sup> adelantados por Vila & Parajo (2013), el proceso organosolv, donde se empleó ácido clorhídrico y acético concentrado (acetosolv), facilitó la degradación de la hemicelulosa y la lignina y como resultado se obtuvo pulpa de celulosa con propiedades químicas destacables, fácilmente blanqueable y libre de sulfuros y cloruros. El presente estudio de investigación se basa en la simulación desarrollada por Vásquez (2015), como se describirá a continuación.

“El proceso comienza en la etapa de mezcla y reacción. Después de molida la biomasa ingresa a una unidad de mezcla donde se pone en contacto con el ácido acético, el ácido clorhídrico y

agua. Esta mezcla se conduce por medio de un tornillo sinfín al reactor estequiométrico, en el cual se lleva a cabo la reacción de hidrolisis ácida de la biomasa a una temperatura de 140°C y 40 psig de presión. A la salida del reactor se obtiene una corriente compuesta de celulosa, hemicelulosa, xilosa, lignina, grupos acetilo, ácido acético, furfural y agua. Esta mezcla se lleva a equipos de separación sólido-líquido, líquido- líquido y líquido-vapor. Después de este tren de separación es posible obtener corrientes separadas de pulpa de celulosa, licores ricos en lignina, xilosa y recircular una fracción de los solventes (ácido acético y ácido clorhídrico)” (Vásquez, 2015).

### 2.2.3 Procesos con líquidos iónicos para la síntesis de celulosa

Recientemente, los líquidos iónicos (LI) han generado interés como una prometedora alternativa ecológica para reemplazar los disolventes orgánicos volátiles tradicionales (Maciel et al., 2019) utilizados en la industria; en el caso de la producción de celulosa toma importancia el uso de los LI, ya que pueden diseñarse a medida para aplicaciones específicas (Amado et al., 2017).

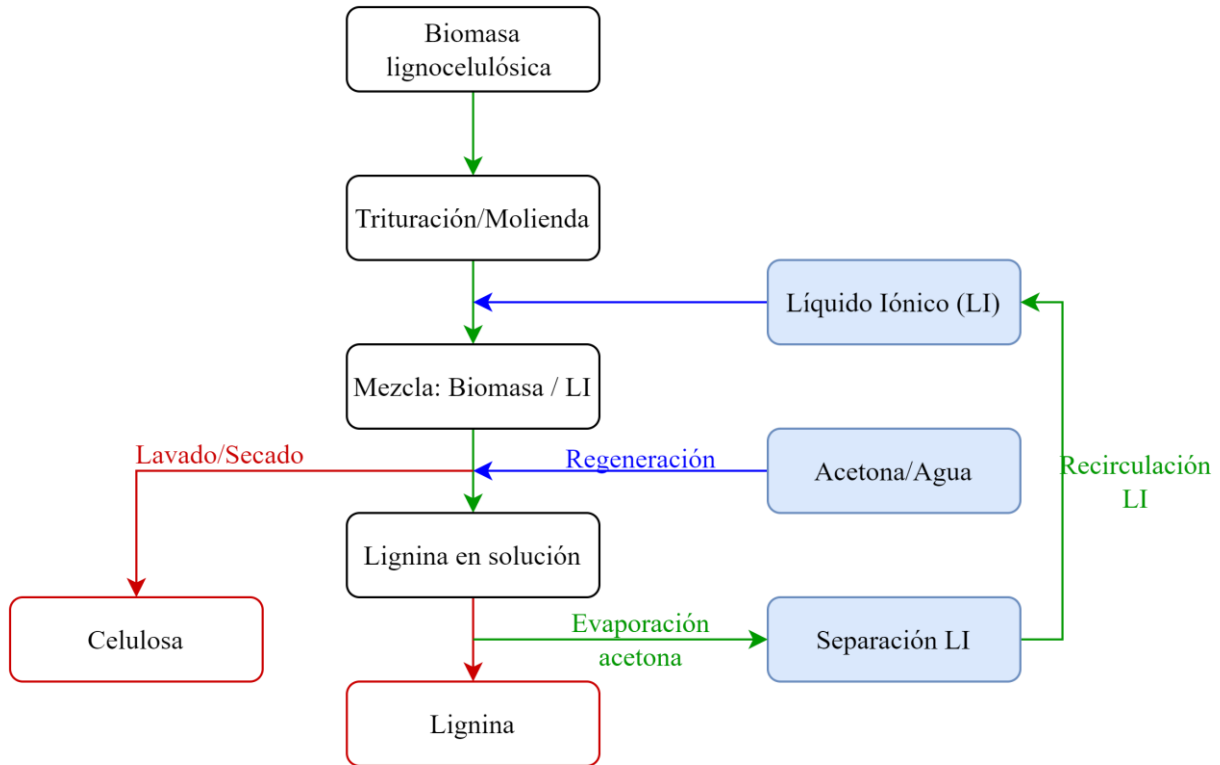
Los LI son sales orgánicas con bajo punto de fusión, menor a 100°C. Están compuestos por una parte aniónica y otra catiónica. Entre sus características se destaca su estabilidad térmica y química, presión de vapor baja, no toxicidad relativa y su capacidad para ser empleados en procesos a altas temperaturas (hasta de 300°C); temperaturas superiores a esta pueden inducir su descomposición (Nawała et al., 2018; Ziaei-Rad, Fooladi, Pazouki, & Gummadi, 2021). Adicional a estas características generales, se señala que los LI se pueden recuperar y recircular en los procesos industriales y es una de las ventajas que los catalogan como solventes verdes (Isik et al., 2014; Nawała et al., 2018; Bhaskar Reddy, Moniruzzaman & Goto, 2019).

Entre las propiedades destacables atribuidas a los LI, está la capacidad de disolver celulosa (Tomimatsu, Suetsugu, Yoshimura & Shimizu, 2019); así pues, Swatloski et al. (2002), informaron por primera vez que ciertos LI ([C<sub>4</sub>mim]Cl, [C<sub>4</sub>mim]Br, [C<sub>4</sub>mim]SCN, [C<sub>4</sub>mim][BF<sub>4</sub>] [C<sub>4</sub>mim][PF<sub>6</sub>]) pueden disolver grandes cantidades de celulosa (≈10–20%) en tiempos cortos (1–12 h) y sin tratamiento previo.

Mäki-Arvela et al. (2010) señalan que un LI antes de ser utilizado para disolver celulosa, debe tener un punto de fusión bajo y no debe provocar la descomposición de la celulosa. El LI debe ser estable y almacenable, la recuperación de este durante el proceso debe ser fácil, debe ser atóxico, inodoro y relativamente barato.

En líneas generales, como se observa en la Figura 2-3, Vásquez (2015) describe que el proceso para obtener celulosa aplicando LI inicia con la trituración de la biomasa para reducir el tamaño a partículas entre 3,0 mm y 5,0 mm. Luego, la biomasa triturada es mezclada con el LI, durante tiempos que van de 2 h y 8 h de mezcla, a temperaturas que oscilan entre 80°C y 130°C. Posteriormente, la mezcla biomasa/LI se pone en contacto con un solvente orgánico (normalmente una mezcla acuosa de acetona y agua) el cual permite la precipitación de la celulosa disuelta en el LI. La celulosa es separada del LI mediante lavados sucesivos. Por su parte, la recuperación del LI tiene lugar en etapas de separación aplicadas a la solución de lignina/LI/acetona. El LI recuperado es recirculado a la etapa de disolución del proceso, mientras que la lignina es obtenida como un subproducto

Figura 2-3. Diagrama de flujo general del proceso de obtención de celulosa a partir de biomasa empleando LI



Nota. Adaptado de Mäki-Arvela et al. (2010) como se citó en Vásquez (2015)

En efecto, Mehmet Isik (2014), concluyó que el descubrimiento científico de la disolución de la celulosa en LI se está traduciendo en nuevos materiales de celulosa que incluyen mezclas, compuestos, fibras y geles de iones. Estos materiales pueden reemplazar los análogos actuales para superar los problemas ambientales asociados con los productos derivados del petróleo. El principal obstáculo de la aplicación de las LI a gran escala son sus altos costos en comparación con solventes convencionales, y los cuales pueden variar entre \$20 USD/kg y \$101 USD/kg (Ziaei-Rad et al., 2021), costos que han ido descendiendo en el tiempo. Granström (2009) muestra que existe un interés creciente en el uso de los LI en procesos industriales. La empresa comercial BASF ha licenciado el uso exclusivo de varios derechos de propiedad intelectual para la disolución y regeneración de celulosa. Ahora bien, debido a la versatilidad química tanto de la celulosa y sus derivados, como de los LI, se esperan nuevos desarrollos que conduzcan a la próxima generación de materiales en un futuro próximo.

En el caso particular de la disolución de celulosa con el uso de LI, se han reportado diversas investigaciones como es el caso de Polaskova et al (2013), donde informaron de la preparación de microfibras de celulosa derivadas de la madera utilizando acetato de 1-etil-3-metilimidazolio (EMIM[AoC]) y lactato de 1-etil-3-metilimidazolio (Emim Lactato) como disolventes para el procesamiento directo de madera de pino. Los autores informaron fibras electrohiladas con diámetros de 1 a 4  $\mu\text{m}$  utilizando 5% en peso de madera disuelta en líquidos iónicos.

Stolarska et al., (2017) determinaron la capacidad de disolver celulosa utilizando mezclas de LI y comparando los resultados con el comportamiento de los LI individualmente. Las mezclas de LI

probadas fueron 3:7 mol / mol de cloruro de 1-etil-3-metilimidazolio ([C<sub>2</sub>mim] Cl) y acetato de 1-etil-3-metilimidazolio ([C<sub>2</sub>mim] [OAc] o Emim AoC), y una mezcla eutéctica de una relación 5,1:4,9 mol / mol de [C<sub>2</sub>mim] Cl y cloruro de 1-butil-3-metilimidazolio (C<sub>4</sub>mim) Cl). La cantidad de celulosa disuelta se investigó a tres temperaturas diferentes (50°C, 75°C, y 100°C) para cada sistema. La mayor cantidad de celulosa disuelta se obtuvo para la mezcla [C<sub>2</sub>mim] Cl + [C<sub>2</sub>mim] [OAc], a 100°C y fue de 40 g por 100 g de disolvente.

Chu et al. (2018) desarrollaron un enfoque computacional para la predicción de la capacidad de solubilidad de la celulosa en los LI basadas en COSMO-RS (Modelo de selección tipo conductor para solventes reales, por sus siglas en inglés). El modelo computacional calculó la propiedad termodinámica del coeficiente de actividad logarítmica ( $\ln\gamma$ ) y el exceso de entalpía ( $H^E$ ), para predecir la capacidad de los LI en la disolución de celulosa. Para evaluar el método, se usaron cuatro conjuntos de LI para calcular  $\ln\gamma$  y  $H^E$ , basado en cuatro modelos diferentes de celulosa (glucosa, celobiosa, celotriosa y celotetraosa).

El primer conjunto de LI incluyó cationes potenciales de metilimidazolio<sup>+</sup>, piridinio<sup>+</sup>, etilmorfolinio<sup>+</sup> y metilpirrolidona<sup>+</sup>, con grupos funcionales de etilo, alilo, 2-hidroxietilo, 2-metoxietilo o acrililoiloxipropilo, y aniones comunes (AlCl<sub>4</sub><sup>-</sup>, BF<sub>4</sub><sup>-</sup>, HCOO<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>, entre otros). El segundo conjunto de LI incluyó las combinaciones de un catión común (C<sub>4</sub> min<sup>+</sup>) y de aniones carboxilato diferentes (COO<sup>-</sup>). El tercer conjunto de LI cationes de imidazolio (C<sub>1</sub>min<sup>+</sup> - C<sub>9</sub> min<sup>+</sup>) y siete (7) aniones (Br<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, EtO<sub>2</sub>PO<sub>2</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, MeO<sub>2</sub>PO<sub>2</sub><sup>-</sup>). Finalmente, el cuarto conjunto está compuesto por cationes asociados con una estructura voluminosa particular o una cadena de alquilo larga (Bu<sub>4</sub>N, Bu<sub>4</sub>P, C<sub>2</sub>mim, C<sub>4</sub>mim, C<sub>8</sub>mim, HOEt<sub>2</sub>MeIm, entre otros) aniones (Cl<sup>-</sup>, HCOO<sup>-</sup>, N(CN)<sub>2</sub><sup>-</sup>, TF<sub>2</sub>N<sup>-</sup>) (Chu et al., 2018).

Finalmente, la bondad de ajuste de las regresiones lineales entre las solubilidades experimentales de la celulosa y las calculadas  $\ln\gamma$  y  $H^E$ , muestra que  $\ln\gamma$  es más confiable que  $H^E$ , para la predicción del poder de disolución de los LI en la celulosa; sin embargo,  $H^E$  es más adecuado para la predicción de la capacidad de disolución de los LI basados en halógenos. Todos los modelos de celulosa dieron resultados de predicción comparativamente buenos con respecto al poder de disolución de los LI basados en el  $\ln\gamma$  calculado, pero el modelo de celobiosa se identificó como el modelo óptimo, debido a la capacidad de predicción relativamente más alta ( $R^2$ ) a través de diferentes conjuntos de datos de LI (Chu et al., 2018).

Verma et al. (2019), resalta que los LI a base de imidazolium representan la clase más importante, a causa de sus excelentes propiedades fisicoquímicas, siendo las más evidentes su presión de vapor relativamente baja, su alta capacidad térmica y su potencial como solventes para diversas transformaciones químicas. En el mismo sentido, Fukaya et al. (2006), observaron que el acetato de 1-etil-3-metil-imidazolium (EMIM[AoC]) fue el LI más efectivo para la disolución de celulosa, mientras que el cloruro de 1-alil-3-metil imidazolium (AMIM Cl) fue el más efectivo para la disolución de astillas de madera. Con respecto al LI EMIM[AoC], Wu et al., (2011) demostraron que se puede reutilizarse hasta diez (10) veces durante el pretratamiento de varias biomasa lignocelulósica.

Vásquez (2015), en su trabajo de investigación modeló y simuló el potencial de sostenibilidad de procesos de obtención de celulosa a partir de diferentes biomasa e incorporando solventes verdes (líquidos iónicos). Las combinaciones entre biomasa y LI correspondieron a los procesos de aserrín de madera en BmimCl, cascarilla de arroz en EmimAoC, residuos de flores en EmimAoC y aserrín de madera en RevIL. La síntesis de procesos para la obtención de celulosa empleando LI se realizó

en el software ASPEN PLUS® y los resultados de las mismas posibilitaron determinar condiciones de proceso tales como: temperaturas, presiones, potencia neta, calor transferido, exergía de flujo, flujos másicos de líquidos iónicos y materias primas. Así mismo, en dicho trabajo se seleccionaron biomásas de interés para el ámbito colombiano, se identificaron solventes verdes con potencial para ser sustitutos de solventes convencionales y se emplearon técnicas de ingeniería de sostenibilidad para evaluar desde los ámbitos técnico, ambiental y económico la viabilidad de los procesos de obtención de celulosa. En este sentido, se obtuvo como resultado general que el uso de residuos de flores como biomasa lignocelulósica y la aplicación del LI EMIM[AoC], corresponde a la alternativa evaluada más atractiva para la obtención de celulosa, debido a su alto potencial de rentabilidad económica y al reducido impacto ambiental evaluado.

## **2.3 COMERCIO E INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y SUS DERIVADOS QUIMICOS**

### **2.3.1 Mercado internacional de la celulosa y sus derivados**

La celulosa es una materia prima versátil y de la cual existen diferentes productos comerciales que van desde la pulpa virgen de celulosa que satisface las necesidades de la industria papelera o textil, hasta productos específicos como lo sería la celulosa microcristalina MCC o la carboximetilcelulosa (CMC) que hacen parte del mercado de celulosas especiales, y que se ofertan para satisfacer la demanda de las industrias farmacéutica, cosmética, alimenticia, entre otras.

Por lo tanto, antes de tomar decisiones al desarrollar proyectos, es importante conocer el mercado de un producto o servicio; pues, el mercado corresponde al área en donde confluyen las fuerzas de la oferta y la demanda para realizar las transacciones de bienes y servicios a precios determinados (Baca, 2010).

Como describe Baca (2010), los objetivos de un estudio de mercado consisten en:

- Ratificar la existencia de una necesidad insatisfecha en el mercado, o la posibilidad de brindar un mejor servicio que el que ofrecen los productos existentes en el mercado.
- Determinar la cantidad de bienes o servicios provenientes de una nueva unidad de producción que la comunidad estaría dispuesta a adquirir a determinados precios.
- Conocer cuáles son los medios que se emplean para hacer llegar los bienes y servicios a los usuarios.
- Como último objetivo e intangible, consiste en dar una idea al inversionista del riesgo que su producto corre de ser o no aceptado en el mercado.

Entonces, para dar respuesta a los objetivos descritos anteriormente, se debe conocer en términos generales la demanda, oferta, precio y formas de comercialización de un producto o servicio (Figura 2-4).

**Figura 2-4. Elementos de un estudio de mercado**

<b>Demanda</b>	Estimación de cantidades que pueden ser vendidas a ciertos niveles de precios. Determina los gustos y preferencias de los consumidores, lo mismo que su poder adquisitivo o capacidad de compra.
<b>Oferta</b>	Estimación de cantidades de bienes y servicios que los productores están dispuestos a vender.
<b>Precio</b>	Valor económico o monetario de un bien o servicio ofrecido en el mercado, elemento básico de la estrategia comercial y define en última instancia el nivel de ingresos del proyecto. (Restrepo, 2008)
<b>Comercialización y promoción</b>	<u>Comercialización:</u> Administración de la cadena de suministro: logística. <u>Promoción:</u> Estudiar la forma sobre como incentivar y hacer conocer al público sobre un determinado producto.

En este sentido y como se ha mencionado con anterioridad, el presente estudio se enfoca en los análisis técnicos, económicos y ambientales de la MCC por ser un material de valor agregado. En el comercio internacional se conoce como: “*Celulosa y sus derivados químicos, N.C.O.P (No Comprendidos ni expresados en Otras Partes), en formas primarias, (Excluyendo Acetatos de Celulosa, Nitratos de Celulosa y Éteres de Celulosa)*”. En el mercado de las celulosas especiales, el Sistema Armonizado (SA o HS por sus siglas en inglés Harmonized System) desarrollado por la Organización Mundial de Aduanas (OMA), clasifica la MCC por medio del código o partida arancelaria: 3912.90 (Merck, 2021).

Este código tiene la función de clasificar y valorar las mercancías para una correcta aplicación de los gravámenes respectivos, permite el control de la entrada y salida de productos de acuerdo a la política de comercio exterior establecida y sirve para registrar las estadísticas de comercio exterior de los países (Procolombia, 2021). En la Tabla 2-3 se presentan los diferentes productos derivados especiales de la celulosa, los cuales pertenecen a la partida arancelaria 3912 y se les asigna otros dos (2) dígitos (subpartida) para agruparlos de acuerdo al tipo o posible aplicación.

**Tabla 2-3. Partidas y subpartidas arancelarias del mercado de la celulosa**

	<b>Producto comercializado</b>	<b>Partida y subpartida arancelaria (código de 6 dígitos)</b>
<u>Celulosas especiales:</u>	Éteres de celulosa en formas primarias (excluido carboximetil celulosa y otras partes)	HS6 : 3912.39
Celulosa y Sus Derivados Químicos, No Expresados Ni Comprendidos en Otra Parte, en Formas Primarias.	<b>Celulosa y sus derivados químicos, N.C.O.P (No Comprendidos ni expresados en Otras Partes)., en Formas Primarias (Excepto Acetatos de Celulosa, Nitratos de Celulosa y Éteres de Celulosa)</b>	<b>HS6: 3912.90</b>
	Carboximetil celulosa	HS6: 3912.31
HS4: 3912	Acetatos de celulosa no plastificados en formas primarias	HS6: 3912.11

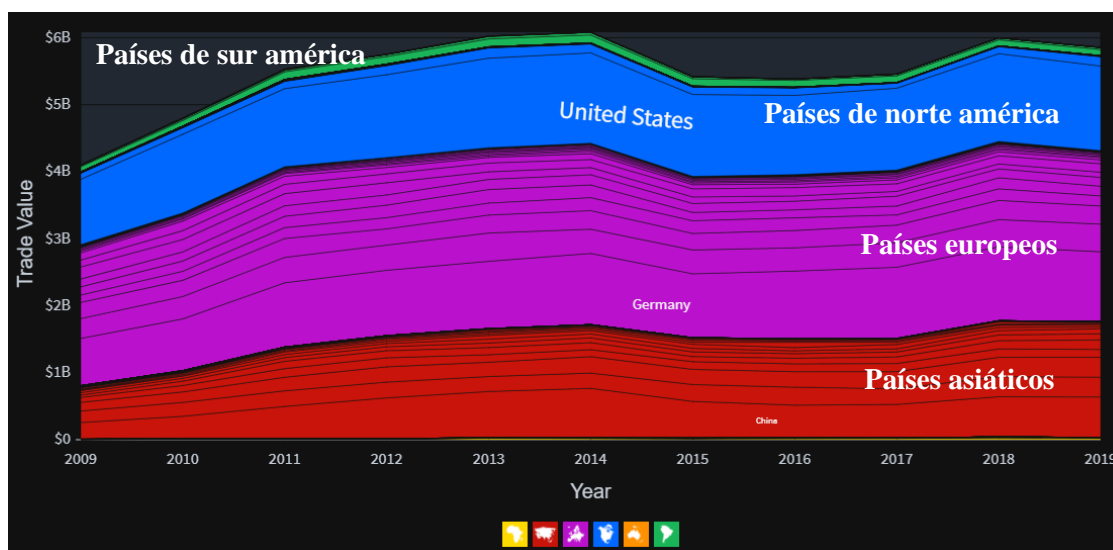
Producto comercializado	Partida y subpartida arancelaria (código de 6 dígitos)
Acetatos de celulosa plastificados en formas primarias	HS6: 3912.12
Nitratos de celulosa en formas primarias, incluidos los colodiones	HS6: 3912.20

Identificada y clasificada la MCC en el mercado de comercio exterior, se da el primer paso para establecer un estudio de mercado de este producto y el contexto en el que se desenvuelve.

En términos generales y según datos de la plataforma web de visualización y distribución de datos en línea de la dinámica de las actividades económicas llamada: “The Observatory of Economic Complexity (OEC)”, en el año 2019, la celulosa y sus derivados químicos, cobijados bajo la partida arancelaria “HS4: 3912”, se ubicaron en el puesto número 458 entre 1.217 de los productos más comercializados del mundo, con una cifra total de \$ 5,86 mil millones USD (OEC, 2021).

Según datos de OEC (2021), para el año 2019, los principales exportadores de celulosa y sus derivados químicos (HS: 3912) fueron: Estados Unidos (\$ 1,26 Miles de Millones USD), Alemania (\$ 1,04 Miles de Millones USD), China (\$ 603 Millones USD), Bélgica (\$ 412 Millones USD) y Corea del Sur (\$ 297 Millones USD). Como se observa en la Figura 2-5, los países del continente europeo concentran el mercado de exportaciones de celulosa (HS4:3912).

**Figura 2-5. Concentración del mercado de exportaciones de celulosa**

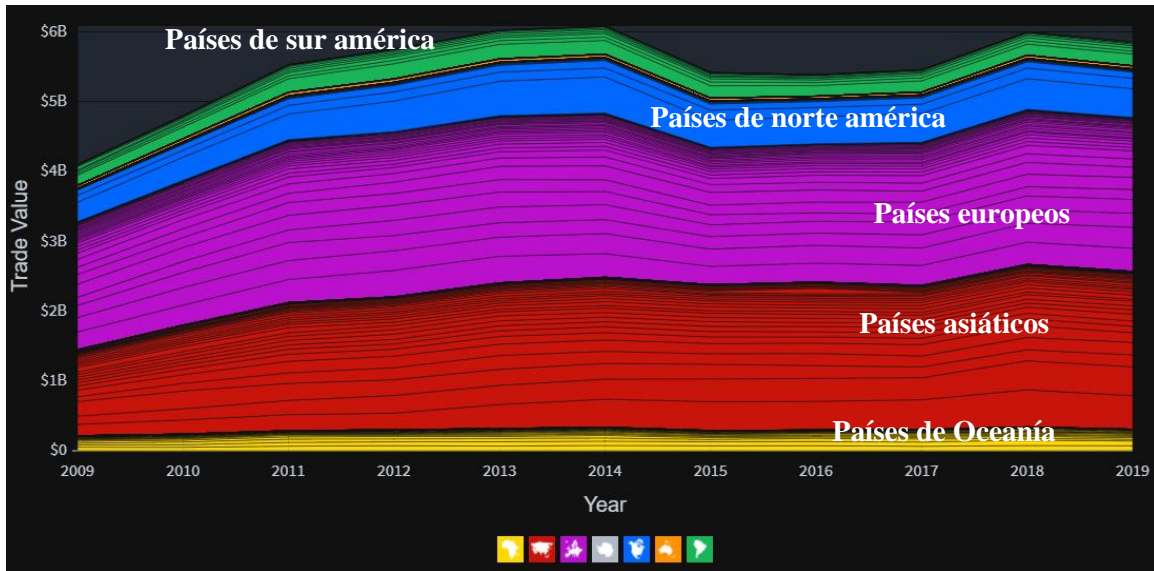


Nota. “B”, corresponden a una cifra de miles de millones que es igual a un billón correspondientes

Fuente. (OEC, 2021).

En 2019, los principales importadores de celulosa y sus derivados químicos (HS4:3912) fueron China (\$ 480 Millones USD), India (\$ 411 Millones USD), Estados Unidos (\$ 411 Millones USD), Bélgica (\$ 332 Millones USD) y Alemania (\$ 300 Millones USD). Como se puede observar en la Figura 2-6 Europa es el continente que más importa celulosa (OEC, 2021).

**Figura 2-6. Concentración del mercado de importaciones de celulosa**



Nota. “B”, corresponden a una cifra de miles de millones que es igual a un billón correspondientes

Fuente. (OEC, 2021).

Según análisis de OEC (2021) en el año 2019, el derivado de celulosa más comercializado en el mundo fueron los éteres de celulosa (HS6: 3912.39) en formas primarias (2,80 Miles de Millones USD); en segundo lugar, los derivados de celulosa (HS6:3912.90) en formas primarias (1,15 Miles de Millones USD); en tercer lugar la Carboximetilcelulosa (HS6: 3912.31) en formas primarias (880 Millones USD); en cuarto lugar los Acetatos de celulosa (HS6: 3923.11) no plastificados en formas primarias (576 Millones USD), y por último los nitratos de celulosa (HS6: 3912.20) colodiones en formas primarias (\$ 407 Millones USD) (Figura 2-7).

En ese sentido, cabe aclarar que los derivados de celulosa en formas primarias, corresponden a la MCC y a la nanocelulosa en sus diferentes tipos y presentaciones comerciales.





**Tabla 2-4. Tipos comerciales de MCC**

Tipo de MCC	Tamaño de partícula (µm)	Descripción	Precio promedio USD/kg
PH 101	50	Es la MCC más ampliamente utilizada para comprimidos de compresión directa, granulación húmeda, esferonización y en procesos de llenado de cápsulas.	
PH 102	100	Se utiliza como PH-101, pero su tamaño de partícula más grande mejora el flujo de polvos finos.	
PH 103	50	Tiene el mismo tamaño de partícula que PH-101 con menor contenido de humedad (3%), por lo que se utiliza para ingredientes activos farmacéuticos sensibles a la humedad.	
PH 105	<50	Es el más comprimible de los productos PH debido al tamaño de partícula más pequeño. Bien conocido como excipiente para compresión directa de materiales granulares o cristalinos. Cuando se mezcla con PH-101 o PH-102, se obtendrán características específicas de flujo y compresión. Tiene aplicaciones en compactación de rodillos	
PH 112	100	Tiene el mismo tamaño de partícula que PH-102. Tiene menor contenido de humedad (1,5%). Se utiliza para principios activos farmacéuticos sensibles a la humedad.	
PH 113	50	Tiene el mismo tamaño de partícula que PH-101. Tiene menor contenido de humedad (1,5%). Se utiliza para principios activos farmacéuticos sensibles a la humedad.	\$194,22*
PH 200	180	Tiene un gran tamaño de partícula con mayor fluidez. Se utiliza para reducir la variación de peso y mejorar la uniformidad del contenido en formulaciones de compresión directa y en formulaciones de granulación húmeda.	
PH-200 LM	200	El tamaño de partícula más grande con el contenido de humedad más bajo, lo que permite un mejor índice de flujo que Avicel PH-112. Grado improvisado para la compresión directa de activos sensibles a la humedad	
PH 301	50	Tiene el mismo tamaño de partícula que el PH-101 pero es más denso, lo que proporciona más fluidez y uniformidad en el peso de la tableta. Útil para hacer tabletas más pequeñas y como excipiente de relleno de cápsulas.	
PH-302	100	Grado de alta densidad aparente con un tamaño de partícula más grande, utilizado para la producción de comprimidos delgados, especialmente en formulaciones de fármacos de dosis alta. Evita la segregación de polvo y logra buenos caudales. El contenido de humedad varía entre 3,0-5,0%.	

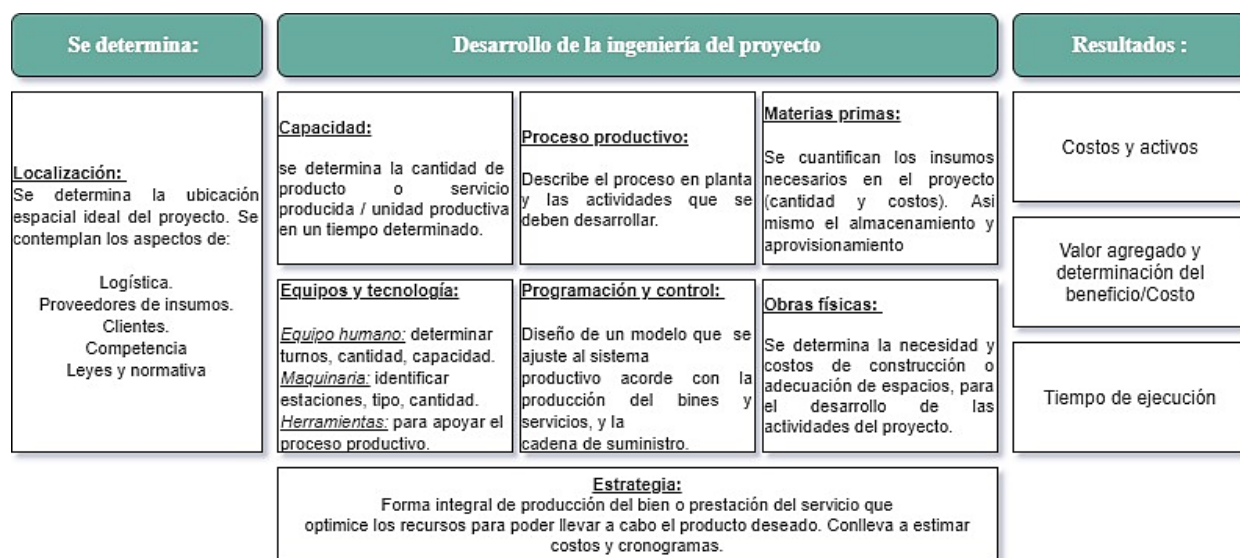
\*Promedio de precios comerciales de MCC para diferentes calidades y presentaciones.

Fuente. (Sigma-Aldrich, 2021). Nota. Adaptado de Chaerunisaa, Sriwidodo, & Abdassah (2020) & Signet (2021).

### 2.3.2 Aspectos técnico-económicos de la MCC

Durante la preparación del desarrollo de un proyecto y luego de estudiar el mercado, se realiza el estudio técnico-económico, en donde se determina todo lo relacionado con la producción y prestación de un servicio; abarcando desde la localización física de la actividad proyectada, los aspectos técnicos que permiten desarrollar el proyecto (procesos, equipos, materias primas, etc.) y el análisis de viabilidad económica en el cual se organizan los costos y los beneficios que se pueden obtener (Figura 2-8).

**Figura 2-8. Aspectos de un estudio técnico-económico**



Vanhatalo et al. (2014), desarrollaron un estudio técnico-económico comparativo entre dos modelos de plantas productoras de MCC, una planta independiente (sMCC) (Dahl et al. 2011a) y una planta que integra los procesos de pulpeo químico de celulosa y de síntesis de MCC (iMCC) (Dahl et al. 2011b), para un nivel de producción de 30.000 BDt/año para ambas opciones del proceso a analizar y según el mercado existente aplicable (100.000 t/año (Ciechanska et al. 2010)). En ambos casos, la materia prima utilizada fue pulpa de celulosa kraft de madera blanda blanqueada, el agua de proceso fue agua químicamente purificada y el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> fue el ácido utilizado en la hidrólisis líquida (Vanhatalo et al., 2014).

Las condiciones de producción establecidas para los modelos del estudio se aprecian en la Tabla 2-5, dichos parámetros proporcionan un rendimiento de proceso del 90% y producen un tamaño medio de MCC de 20 μm.

**Tabla 2-5. Condiciones generales de producción**

	Unidad	Caso sMCC	Caso iMCC
Producción MCC, C <sub>Mp</sub>	BDt/año*	30.000	30.000
Rendimiento MCC, C <sub>My</sub>	%	90	90
Consistencia de la pulpa, C <sub>cons</sub>	%	90	30
Dosis H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , C <sub>A%</sub>	%	15	15
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> agua, C <sub>Aw</sub>	t/año	680	680
Consistencia de hidrolisis, C <sub>Hyd</sub>	%	30	30
Cantidad de agua de lavado, C <sub>Wwa</sub>	t/año	15.000	15.000
Materia seca de MCC después de la deshidratación, C <sub>Dw</sub>	%	50	50
Materia seca de MCC después del secado, C <sub>Dr</sub>	%	90	90

\*BD: Término descriptivo para las condiciones libres de humedad.

Nota. Adaptado de Vanhatalo et al. (2014).

Con respecto a los parámetros técnicos relacionados con la producción de MCC, Vanhatalo et al. (2014) estimaron las necesidades de agua, materia, energía y combustibles como se presenta en la Tabla 2-6, para producir 30.000 t/año de MCC en los casos de las plantas sMCC y iMCC.

**Tabla 2-6. Demanda de agua y combustible para los procesos de síntesis de MCC**

	Unidad	Caso sMCC	Caso iMCC
<b>Masa y agua:</b>			
Necesidades de pulpa $C_{Pn} = C_{Mp} / C_{My}$	BDt/año	33.333	33.333
Agua para pulpeo, $C_{Pw} = C_{Pn} / C_{Cons} - C_{Pn}$	t/año	3.704	77.098
Cantidad $H_2SO_4$ , $C_{Aa} = C_{Pn} \times C_{A\%}$	t/año	500	500
Agua para dilución, $C_{Dwa} = C_{Pn} / C_{Hyd} - C_{Pn} - C_{Pw} - C_{Aw}$	t/año	73.394	0,0
Agua trituración/Molienda, $C_{Wm} = C_{Dwa} + C_{Wwa}$	t/año	88.394	15.000
Agua MCC, $C_{Mw} = C_{Mp} / C_{Dr} - C_{Mp}$	t/año	3.333	3.333
Salida de vapor, $C_{Vo} = C_{Mp} / C_{Dw} - C_{Mp} / C_{Dr}$	t/año	26.667	26.667
Cantidad de filtrado, $C_{Fa} = C_{Pw} + C_{Aw} + C_{Wm} - C_{Mw} - C_{Vo}$	t/año	62.778	62.778
Carbohidratos disueltos, $C_{Dc} = C_{Pn} - C_{Mp}$	t/año	3.333	3.333
<b>Combustible:</b>			
Demanda de energía, $C_{Ps}$	kWh/BDt	300	280
Demanda de calor, $C_{Hs}$	GJ/BDt	5	4,3
Valor calorífico del gas natural, $C_{Ng}$	GJ/BDt	50,0*	
Factor de eficiencia, $C_{Ef}$		0,9	
Gas natural, $C_{Ng} = C_{Mp} \times C_{Hs} / C_{Ng} / C_{Ef}$	t/año	3.333	

Nota. \* (Gasum, 2014 citado por Vanhatalo et al., 2014). Adaptado de Vanhatalo et al. (2014).

Las diferencias en las cantidades de agua provienen de la divergencia en los flujos de entrada de materia prima entre las dos plantas propuestas. El caso de sMCC utiliza balas de pulpa (90% de consistencia seca) y el caso de iMCC utiliza una corriente de pulpa sin secar de una planta de pulpa química. El gas natural se usa sólo con sMCC. La cantidad de carbohidrato disuelto se basa en el rendimiento de hidrólisis. La demanda de energía del iMCC es 20 kWh / BDt más baja que la del sMCC porque no se necesita la unidad de trituración. Se utiliza vapor en el reactor de hidrólisis y para el secado (Vanhatalo et al., 2014).

Los costos operativos y de inversión estimados se resumen en la Tabla 2-7 y son útiles para tener como referencia en futuros estudios técnico-económicos de proyectos de síntesis tanto de pulpa de celulosa como de MCC.

**Tabla 2-7. Valores predeterminados utilizados para el cálculo de costos operativos y de inversión.**

	Unidad	Caso sMCC	Caso iMCC
Precio de la pulpa comprada, $C_{Ppp}$	EUR/ADt	630	605
Costo unitario de calor, $C_{Huc}$	EUR/MWh	50,0*	30,0
Costo unitario de energía, $C_{Puc}$	EUR/MWh	90,0**	30,0
Valor unitario del operario, $C_{Ouc}$	EUR/Operador/año	60.000	60.000
Número de operarios, $C_{No}$		25,0	20,0
Costo planta MCC, $C_{Mmc}$	mill. EUR	25,0	25,0
Costo de la planta de energía, $C_{Ppc}$	mill. EUR	1,5	0,0
Costos de mantenimiento constante, $C_{Mcc}$	% del costo del proyecto	4,0	4,0
Costo fijo constante (sin privación), $C_{Fcc}$	% del costo del proyecto	15,0	15,0
Costo de capital (anualizado), constante $C_{Ccc}$	% del costo del proyecto	13,0	13,0
Precio de venta, $C_{Sp}$	EUR/ADt	1.600	1.600
Precio unitario de $H_2SO_4$ , $C_{Ap}$	EUR/t	40,0	40,0

\*(Tilastokeskus 2013<sup>a</sup>, como se citó en Vanhatalo et al., 2014)

\*\* (Tilastokeskus 2013b; Tulli 2013, como se citó en Vanhatalo et al., 2014)

*Nota.* Adaptado de Vanhatalo et al. (2014).

Los costos totales calculados del proyecto y los costos operativos de los casos MCC y iMCC se muestran en la Tabla 2-8. Los costos totales del proyecto incluyen los costos del terreno, edificio, obra civil, maquinaria (con tanques y tuberías), utilidades, equipo eléctrico, control de procesos, servicios de consultoría y montaje y puesta en marcha de toda la maquinaria. Normalmente, en las estimaciones se considera una contingencia del 20% de la inversión. La maquinaria principal de ambas opciones de planta (independiente e integrada) es del mismo tamaño y gasto de capital (Vanhatalo et al., 2014).

**Tabla 2-8. Costo operativo y total del proyecto para los casos sMCC y iMCC.**

	Unidad	Caso sMCC	Caso iMCC
Costo Pulpa $C_{Pc} = C_{Pn} / 0,9 \times C_{Ppp} / 1000000$	mill. EUR/año	23,3	22,4
Costos de Calor $C_{Hc} = C_{Hs} / 3,6 \times C_{Huc} * C_{Mp} / 1000000$	mill. EUR/año	2,1	1,1
Costo de energía $C_{Poc} = C_{Ps} / 1000 \times C_{Mp} \times C_{Puc} / 1000000$	mill. EUR/año	0,8	0,3
Costo de operador, $C_{Oc} = C_{Ouc} \times C_{No} / 1000000$	mill. EUR/año	1,5	1,2
Costo de mantenimiento, $C_{Mc} = C_{Mcc} \times (C_{Mmc} + C_{Ppc})$	mill. EUR/año	1,1	1
Costo fijo (sin depreciación), $C_{Fc} = C_{Fcc} \times (C_{Mmc} + C_{Ppc})$	mill. EUR/año	4	3,8
Costo de capital (anualizado), $C_{Cc} = C_{Ccc} \times (C_{Mmc} + C_{Ppc})$	mill. EUR/año	3,4	3,3
Costo de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , $C_{Ac} = C_{Aa} \times C_{Ap} / 1000000$	mill. EUR/año	0,02	0,02
Coto total de operación, $C_{Toc} = C_{Pc} + C_{Hc} + C_{Poc} + C_{Oc} + C_{Mc} + C_{Fc} + C_{Cc} + C_{ac}$	mill. EUR/año	36,2	33,0
Costo total del proyecto, $C_{Tpc} = C_{Mmc} + C_{Ppc}$	mill. EUR/año	26,5	25,0

*Nota.* Adaptado de Vanhatalo et al. (2014).

Como se observa en la Tabla 2-9, la TIR (Tasa Interna de Retorno) y el valor agregado de la pulpa comprada, hacen que las dos opciones de planta industrial sean viables y factibles. El caso de iMCC presenta un mejor comportamiento debido a que la TIR es 13,6% más alta que para el escenario sMCC. Así mismo, el beneficio correspondiente al valor agregado de la celulosa comprada es del 14,0%. Según Vanhatalo et al. (2014), los precios de las materias primas y los productos tienen un efecto esencial en la inversión (la TIR y el valor agregado de la pulpa comprada).

**Tabla 2-9. Análisis de costo-beneficio para los casos de sMCC e iMCC**

	Unidad	Caso sMCC	Caso iMCC
Ingresos de venta, $C_{Si} = C_{Mp} \times C_{Sp} / 1000000 / 0,9$	mill. EUR/año	53,3	53,3
Depreciación (20 % inversión.), $C_{D,20\%} = 0,2 \times C_{Tpc}$	mill. EUR/primer año	5,3	5
Beneficio neto antes de impuestos, $C_{Npbt} = C_{Si} - C_{Toc}$	mill. EUR/primer año	17,1	20,4
Impuestos (20%, 2014 adelante), $C_{T,20\%} = (C_{Npbt} - C_{D,20\%}) \times 0,2$	mill. EUR/primer año	2,4	3,1
Beneficio neto después de impuestos, depreciación del 20%considered, $C_{Npat} = C_{Npbt} - C_{T,20\%}$	mill. EUR/primer año	14,7	17,3
TIR, $C_{ROI} = C_{Npat} / C_{Tpc} \times 100$	%	55,6	69,2
Valor agregado de la pulpa comprada, $C_{Avpp} = C_{Npat} / C_{Pc} \times 100$	%	63,2	77,2

*Nota.* Adaptado de Vanhatalo et al. (2014).

En conclusión, el proceso de obtención de MCC integrado (proceso de pulpeo kraft y síntesis de MCC) ofrece una mayor viabilidad para entrar en el mercado de las celulosas especiales, en este caso en el de la celulosa microcristalina. Los autores no especifican la calidad ni el tipo de MCC que se desea comercializar.

La información referenciada en este numeral permite tener una línea base de un estudio técnico-económico para el desarrollo de un proyecto industrial de síntesis de MCC, tanto para un escenario en el que se compra la pulpa de celulosa, como para el escenario en que la planta productiva contempla los procesos integrados de pulpeo y obtención MCC.

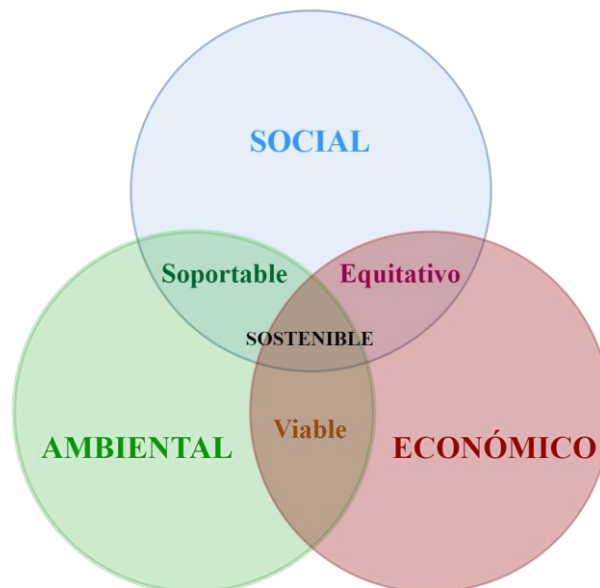
## 2.4 SOSTENIBILIDAD

Como respuesta a las tasas de demanda de materiales y servicios para la satisfacción de necesidades de la sociedad, se está excediendo la capacidad de la naturaleza para regenerarse. Es ahí donde la industria química busca incorporar un enfoque de sostenibilidad desde un principio al diseño del proceso. Su objetivo es reducir la demanda de bienes y servicios, y prevenir y minimizar las emisiones o vertimientos, al tiempo que aumenta sus beneficios económicos y sociales (Jia, Li, Wang & Qian, 2016). En el Informe Brundtland titulado “Nuestro futuro común”, del año 1987, se define por primera vez el término de desarrollo sostenible (Silvius & Schipper, 2014); el cual “es aquél que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (Brundtland, 1987 y Mustapha et al., 2017). Desde entonces, la sostenibilidad ha evolucionado y adquirido importancia universal, incluso con una presencia importante en el diseño de políticas a nivel personal, privado, gubernamental e internacional (Sun, 2010).

Durante la cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro (Brasil) en el año 1992, surge un concepto de desarrollo sostenible basado en la integración de las dimensiones económicas, ambientales o ecológicas y sociales (Romero & Linares, 2014), desarrollando el término de sostenibilidad, conocido como “Triple Bottom Line (TBL)”, mostrado en la Figura 2-9, y que se hizo ampliamente conocido dada la complementariedad entre cada uno de los aspectos contemplados (Elkington, 1997 y Wu et al., 2017).

No obstante, Araújo & Mendonça (2009), plantean que los conceptos de desarrollo sostenible y de sostenibilidad difieren, argumentando que el primero se relaciona generalmente con las políticas públicas y el segundo con todas las demás acciones promovidas desde el sector privado. De esta manera, cuando al interior de una organización se argumenta que sus procesos se enfocan en el desarrollo sostenible, se está hablando de la sostenibilidad corporativa, la cual integra los tres pilares del desarrollo sostenible (económico, ambiental y social) al entorno de negocio (Baumgartner & Ebner, 2010). La gestión de proyectos que integra los tres pilares de la sostenibilidad, establece una relación entre lo ambiental y lo económico que debe ser viable, una relación económica y social que debe ser equitativa, sumado a una relación ambiental y social que debe ser soportable (Daneshpour, 2015).

Figura 2-9. Concepto de “Triple Bottom Line (TBL)” de sostenibilidad



Fuente. Adaptado de Daneshpour (2015).

De esta manera, para que un cambio tecnológico en el marco de la sostenibilidad sea compatible al interior de una industria, hay tres aspectos fundamentales que deben abordarse: a) uso eficiente, que reduce significativamente la cantidad de materia prima requerida por unidad de producto; b) recursos renovables, tratando de explotar el flujo y los ciclos de la naturaleza, y preservando el capital natural; y c) ecología industrial, que implica la eliminación de residuos mediante reutilización, reciclaje y reprocesamiento, así como la expansión de la vida útil de los productos (Sun, N ,2010).

Adicionalmente, vale la pena señalar que el reciclaje interno de recursos para mejorar la eficiencia de los procesos, juega un papel positivo en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Esta observación es consistente con el concepto de Economía Circular (Wang et al., 2019). Hanumante (2019), describe que la economía circular se moldea como una industria que procesa bienes industriales usados; asimismo, Kirchherr et al. (2017) han definido la economía circular como un sistema económico que reemplaza el concepto de "fin de vida útil", con las alternativas de reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de materiales en los procesos de producción, distribución y consumo.

En consecuencia, la industria en general se enfrenta a la necesidad de incorporar de manera equilibrada en sus procesos productivos los aspectos económicos, ambientales y sociales, sin socavar los sistemas naturales de los que depende; por lo tanto, uno de los principales desafíos para el sector industrial corresponde a determinar y medir el desempeño de la sostenibilidad de productos y procesos (Jia et al., 2016); pero, las investigaciones centradas en la sostenibilidad de proyectos aún son incipientes y fragmentadas (Aarseth et al., 2017), así mismo, es un campo emergente y, a pesar de su importancia, existe actualmente el problema de incorporarlo en las organizaciones debido a que tradicionalmente se valoran las ganancias por encima de las dimensiones sociales y ambientales (Marnewick, 2017).

A continuación, se describen algunas de las metodologías mayormente usadas en la industria química para medir o tomar decisiones en el ámbito de la sostenibilidad.

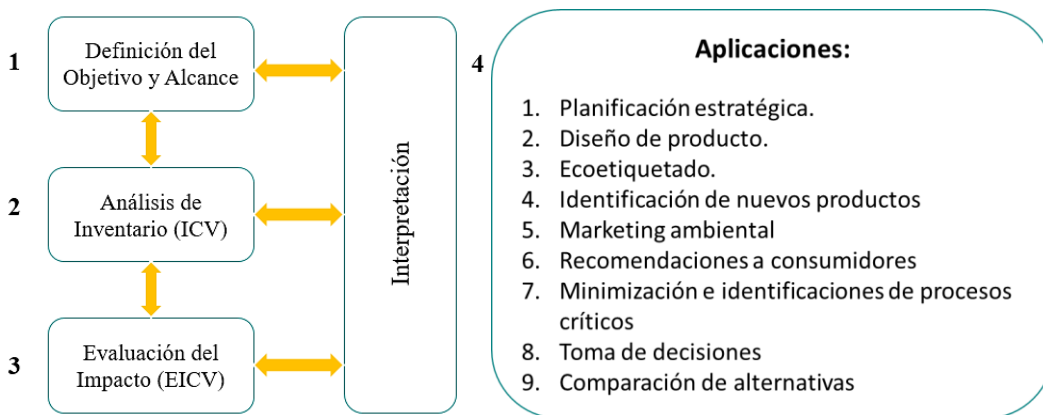
### 2.4.1 Análisis de Ciclo de Vida

Debido a la importancia de la industria química a lo largo de la cadena de valor en la economía mundial, el desarrollo y diseño de nuevos productos y procesos tiene un papel crucial en la reducción de las cargas ambientales y el logro de la sostenibilidad. En este sentido poder identificar y medir los impactos ambientales en las etapas iniciales de un proyecto es fundamental. La Comisión Europea concluyó que la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) proporciona el mejor marco para evaluar los impactos ambientales potenciales de los productos actualmente disponibles (Righi, et. al, 2018), adicionalmente, Wang et al. (2019) destaca en su investigación que para la aplicación de una evaluación de sostenibilidad en sistemas industriales se han explorado enfoques integrados basados en el ACV.

Un ACV se constituye en una herramienta metodológica que permite evaluar los posibles impactos ambientales y los recursos utilizados a lo largo del ciclo de vida de un producto, proceso o sistema, es decir, desde la adquisición de la materia prima, pasando por las etapas de producción y uso, hasta gestión de residuos o reincorporación en la misma cadena productiva o en otra (Ihobe, 2015; Bjørn et.al ,2017). Durante la evaluación de un ACV, los consumos de energía y materiales, sumado a la cuantificación de las emisiones ambientales se traducen en potenciales de impactos ambientales y a la salud humana (Righi et al., 2018).

La metodología de un ACV se describe de manera estandarizada en la norma ISO-14040 de 2016 (Bjørn et al., 2017) para el ámbito de la gestión ambiental. Este estándar fue adoptado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) mediante la NTC-ISO 14040 de 2007 (ICONTEC, 2007). Un ACV en términos generales posee cuatro (4) fases o etapas como se observa en la Figura 2-10.

**Figura 2-10. Fases de un ACV según la norma ISO 1440**



Nota. Adaptado de ICONTEC (2007).

**Fase 1. Definición del objetivo y el alcance:** se define cuál es el sistema a estudiar, su función y los límites del mismo, hasta dónde se “quiere/puede/debe” evaluar el sistema y cuál es la razón por la que se ha decidido realizar el estudio.

**Fase 2. Análisis del inventario (ICV):** consiste en realizar un inventario de las entradas y salidas (energía, materias primas utilizadas, consumibles, desechos, residuos, subproductos, envases, etiquetas, emisiones, vertidos, etc.) del sistema bajo estudio. Implica la recopilación de los datos necesarios para cumplir con los objetivos del estudio definidos en la fase 1.



**Fase 3. Evaluación del impacto ambiental:** consiste en evaluar los impactos ambientales potenciales asociados con esas entradas y salidas. Hay estudios ACV donde se evalúan 5 o 6 impactos o categorías de impacto diferentes (cambio climático, agotamiento de la capa de ozono, toxicidad en humanos, acidificación, nitrificación, etc.) o uno de ellos. En esta fase se pueden realizar los cálculos cuantitativos de evaluación de impacto y se pueden usar software y bases de datos especializadas en esta temática; entre los programas informáticos más conocidos se encuentran: **SimaPro**<sup>®</sup>, OpenLCA, Umberto LCA y GaBi; para el caso de las bases de datos las más conocidas pueden ser: Ecoinvent, Agribalyse, ELCD y Agri-footprint.

**Fase 4. Interpretación:** la interpretación del ciclo de vida es la fase final del ACV; se resumen y discuten los resultados del inventario de ciclo de vida (ICV) obtenidos en la fase 2 y los resultados de la evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) obtenidos en la fase 3. La interpretación de los resultados de ambos o de uno de ellos permitirán establecer conclusiones como por ejemplo conocer en qué parte de la cadena del producto/servicio se tiene un mayor impacto ambiental (puntos críticos) y dónde se tendrán más posibilidades para reducir esos impactos, con la finalidad de ayudar a quienes toman las decisiones de acuerdo con el objetivo y el alcance definidos en la fase 1.

Para entender mejor esta herramienta de gestión ambiental es necesario conocer algunos conceptos básicos, como se mencionan a continuación.

- **Proceso unitario:** elemento más pequeño considerado en el análisis del inventario del ciclo de vida para el cual se cuantifican datos de entrada y salida (ICONTEC, 2007).
- **Sistema de producto:** conjunto de procesos unitarios conectados material y energéticamente mediante flujos elementales y flujos de productos, que realizan una o más funciones definidas (ICONTEC, 2007).
- **Unidad Funcional:** desempeño cuantificado de un sistema del producto para su utilización como unidad de referencia (ICONTEC, 2007). Esto implica que a partir de la referencia que indique la unidad funcional, sea posible normalizar matemáticamente todos los datos de entrada y salida recopilados en la fase ICV. La unidad funcional puede ser de tipo físico o funcional y su tamaño depende del tipo y alcance de estudio que se realice.

Una de las fases críticas de la metodología de ACV, corresponde a la recopilación de datos representativos para el análisis de inventario en los flujos de energía y materiales relacionados con el proceso productivo. En la evaluación de procesos químicos nuevos y emergentes, los datos medidos se conocen solamente a escala de laboratorio y pueden tener un alcance limitado con la huella ambiental del mismo proceso implementado a escala industrial. Por otro lado, en la evaluación de procesos ya establecidos a escala comercial, la disponibilidad de los datos del proceso puede verse obstaculizadas por la confidencialidad industrial. En ambos casos, la integración de técnicas de diseño de procesos simples en el ACV puede contribuir a superar la falta de datos primarios, permitiendo una cuantificación más correcta del inventario del ciclo de vida (Righi et al., 2018).

En la literatura se encuentran diferentes estudios de ACV para la industria química; sin embargo, en la presente investigación se destacan los trabajos que se resumirán a continuación, relacionados con la obtención de celulosa y sus derivados y la aplicación de tecnologías alternativas para mejorar el desempeño ambiental.

Righi et al (2011), analizaron los impactos ambientales esperados de la disolución de celulosa a escala industrial con el LI cloruro de 1-butil-3-metilimidazolio (Bmim Cl) a través de un ACV "de la cuna a la puerta". Con el fin de identificar los beneficios ambientales del proceso, el análisis se realizó mediante una comparación con el proceso convencional que utiliza N-metil-morfolina-N-óxido (NMMO) / H<sub>2</sub>O como disolvente de biomasa y cuyo proceso es considerado respetuoso con el medio ambiente. Los balances de materia y energía, y el dimensionamiento preliminar de las principales unidades de proceso a escala industrial se desarrolló con ayuda del software ASPEN PLUS®; los inventarios del ACV se consolidaron con información contenida en bases de datos; adicionalmente, se utilizó literatura técnica y libros de referencia como fuentes de información y la unidad funcional fue de 1 kg de producto (Figura 2-11). Finalmente, los resultados del ACV sugieren que el proceso alternativo con LI podría ser interesante desde un punto de vista ambiental ya que sus impactos son similares a los del proceso convencional con NMMO / H<sub>2</sub>O. Específicamente, el proceso con Bmim Cl genera una mayor carga ambiental sobre el agotamiento de los recursos abióticos, las emisiones de compuestos orgánicos volátiles y la ecotoxicidad, que el proceso NMMO / H<sub>2</sub>O. Por el contrario, el proceso alternativo, tiene ventajas medioambientales con respecto a la toxicidad humana.

**Tabla 2-10. Resultados de evaluación de impactos**

Categoría de impacto	Puntaje total		Unidad
	Proceso Bmim Cl	Proceso NMMO	
Agotamiento de los recursos abióticos (ADP)	9,1E - 03	7,7E - 03	kg Sb-eq
Potencial de calentamiento global (GWP)	3,7E + 00	3,5E + 00	kg CO <sub>2</sub> -eq
Potencial de agotamiento de la capa de ozono (ODP)	7,7E - 08	7,7E - 08	kg de CFC11-eq
Potencial de toxicidad humana (HTP)	2,2E - 01	2,3E - 01	kg DCB-eq
Potencial de acidificación (AP)	9,4E - 03	8,7E - 03	kg SO <sub>2</sub> -eq
Potencial de eutrofización ( EP )	1,8E - 03	1,8E - 03	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq
Potencial de creación de ozono fotoquímico (POCP)	1,1E - 03	7,6E - 04	kg C <sub>2</sub> H-eq
Potencial de ecotoxicidad acuática de agua dulce (FAETP)	1,2E - 01	5,6E - 02	kg DCB-eq
Potencial de ecotoxicidad terrestre (TETP)	5,6E - 03	5,5E - 03	kg DCB-eq
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	5,2E - 03	3,7E - 03	kg

*Nota.* Adaptado de Righi et al (2011)

Katakojwala & Mohan (2020), diseñaron experimentos para optimizar la producción de MCC a partir de bagazo de caña de azúcar (residuo agroindustrial) utilizando tres métodos químicos diferentes: MCC1, MCC2 y MCC3, en donde se variaban las condiciones de reacción (Tabla 2-11). Durante el estudio implementaron un ACV para los tres (3) procesos propuestos (MCC1, MCC2 y MCC3), tenido un alcance de la "puerta a la puerta", para un 1 kg de MCC producida. Los datos de inventario para las entradas directas como materias primas, productos químicos y energía junto con salidas como los productos / subproductos específicos y los efluentes al medio ambiente en cada paso de los procesos se tomaron de la base de datos Ecoinvent v3.4 proporcionada en el software SimaPro® 8.5.2.0, el cual se utilizó para evaluar los impactos ambientales; el resultado de este ejercicio permitió establecer que el método MCC3 es ambientalmente más sostenible con una buena recuperación de recursos sobre los procesos MCC1 y MCC2 (Tabla 2-12 y Figura 2-11).

**Tabla 2-11. Datos del análisis de inventario**

Entrada al sistema	MCC1	MCC2	MCC3
Bagazo de caña de azúcar (kg)	2,5	2,5	2,225
HNO <sub>3</sub> (kg)	0,75	-	-
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (kg)	0,02	0,5	0,04
NaOH (kg)	0,8	0,8	0,89
CH <sub>3</sub> COOH (kg)	0,265	0,133	0,118
NaClO (kg)	0,278	0,139	0,122
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (kg)	0,725	1,09	1,29
Electricidad (MJ)	650	495,5	340
Agua desionizada (L)	1252	1252	861,8

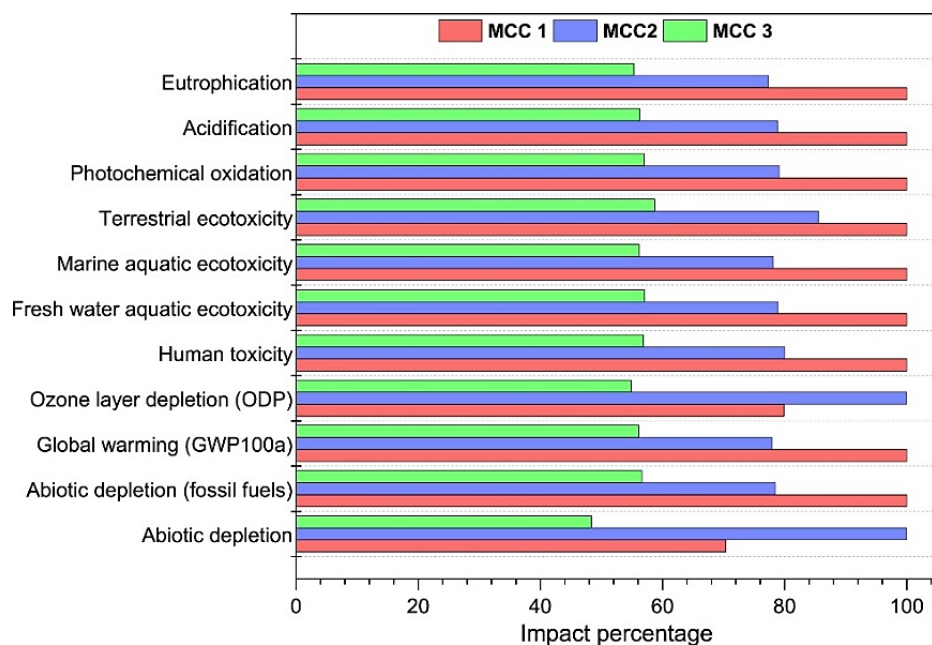
Nota. Adaptado de Katakjwala & Mohan (2020).

**Tabla 2-12. Categorías de impacto evaluadas**

Categoría de impacto	Unidad (equivalente)	MCC1	MCC2	MCC3
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	5,09E-05	7,23E-05	3,49E-05
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	MJ	2.637.342	2.070.413	1.493.916
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO <sub>2</sub> eq	2.613.511	2.037.894	1.466.474
Agotamiento de la capa de ozono (ODP)	kg de CFC-11 eq	4,10E-06	5,13E-06	2,81E-06
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	402.592	3.222.167	2.289.593
Ecotoxicidad acuática en agua dulce,	kg 1,4-DB eq	0,950668	0,750064	0,542732
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	238402,9	186371,1	133927,4
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0,229955	0,196743	0,135048
Oxidación fotoquímica	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	0,04205	0,033271	0,023994
Acidificación	kg SO <sub>2</sub> eq	0,944181	0,744467	0,531297
Eutrofización	kg PO <sub>4</sub> - eq	0,117165	0,090589	0,064771

Nota. Adaptado de Katakjwala & Mohan (2020).

**Figura 2-11. Comparación de los impactos del ACV para cada método**



Fuente. (Katakjwala & Mohan, 2020)

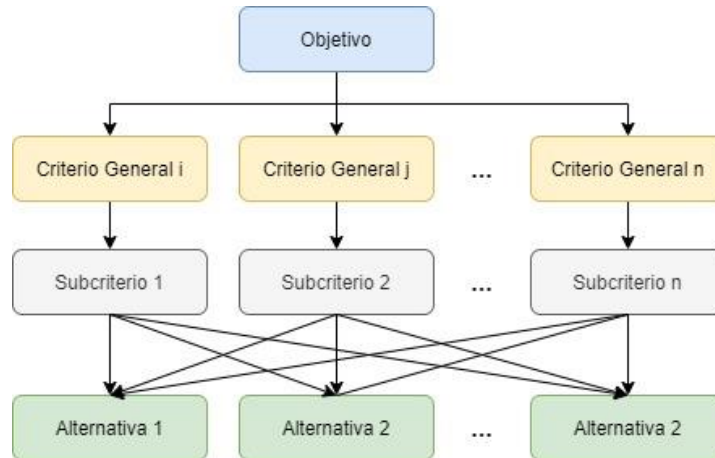
Finalmente, por medio de estas experiencias citadas anteriormente, se puede concluir que los ACV permiten evaluar impactos ambientales potenciales de los procesos y tomar decisiones desde la comparación de alternativas en la industria química, identificando las tecnologías que presentan una mejor sostenibilidad ambiental.

## 2.4.2 Evaluación integrada de sostenibilidad para procesos químicos

La evaluación de la sostenibilidad como un sistema que integra las dimensiones Ambiental – Social–Económica es complejo, debido a que existe un vacío de investigación en materia de armonización terminológica (de Faria, et al., 2021), sumado a que el proceso de toma de decisiones requiere estructuración y sistematización. En este sentido y con el fin de dar soporte a la toma de decisiones desde el ámbito de la sostenibilidad, se han utilizado técnicas multicriterio, tanto aisladas como integradas; entre ellas, el Proceso Analítico Jerárquico (por sus siglas en inglés AHP: Analytic Hierarchy Process), siendo la metodología integral más utilizada (Bolis et al., 2017; Diaz-Balteiro et al., 2017; Sierra et al., 2018) y el más destacado de las áreas industriales de fabricación de productos (Dos Santos et. al, 2019).

El método AHP fue desarrollado por el profesor Thomas Saaty en la década de 1970 y es una técnica de descomposición de estructuras complejas en sus componentes, ordenando estas variables en una estructura jerárquica, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia y finalmente los sintetiza para determinar su prioridad (Saaty, 2006; Dos Santos et al., 2019). La toma de decisiones también se basa en una escala numérica para comparaciones por pares, que se utiliza para indicar cuánto más importante es un factor con relación a otro, considerando los criterios. La escala numérica del AHP varía de 1 a 9, donde 1 significa la igualdad de importancia entre dos variables y 9 indica que una actividad es mucho más importante que la otra (Dos Santos et al., 2019), (2, 4, 6 y 8 son valores intermedios de importancia).

*Figura 2-12. Construcción de las jerarquías en el método AHP*



Dos Santos et al., (2019) resumen que el AHP consta de cuatro (4) pasos: (1) definición del problema y determinación del tipo de conocimiento buscado; (2) estructuración de la jerarquía de decisiones desde arriba con la meta de decisión, luego los objetivos desde una perspectiva amplia, a lo largo del nivel intermedio (criterios de los que dependen los elementos posteriores) hasta el nivel más bajo (que suele ser un conjunto de alternativas); (3) construcción de matrices de comparación

por pares. Cada elemento del nivel superior se utiliza para comparar los elementos del nivel inmediatamente inferior. Y (4) utilización de las prioridades obtenidas de las comparaciones para ponderar las prioridades en el nivel inmediatamente inferior. Posteriormente se debe hacer esto para cada elemento. Luego, para cada elemento en el nivel inferior, agregar los valores de peso y se obtiene la prioridad global general. Se continúa con este proceso de ponderación y suma hasta obtener las prioridades finales de las alternativas en el nivel más bajo.

Jia et al. (2016) propusieron una evaluación integrada de sostenibilidad por medio del método multicriterio AHP, para la selección de alternativas entre dos procesos químicos para la producción de etanol, (A1): proceso de materia prima derivada de etileno y (A2): proceso de materia prima derivada de celulosa de paja. Ambos procesos fueron simulados con el software ASPEN PLUS<sup>®</sup>. Posteriormente con los datos obtenidos, se generaron indicadores ambientales, económicos y de seguridad (Figura 2-13).

Para los indicadores ambientales se determinaron valores de las categorías de impacto ambiental por medio la herramienta ECSS (Engineering Chemical Simulation System) del software ASPEN PLUS<sup>®</sup>. Los indicadores económicos se hicieron de manera comparativa, determinando los costos operativos y de capital. Para los indicadores de seguridad se basaron en los peligros relacionados con las propiedades químicas de las sustancias en el proceso y el proceso en sí, incluidos los equipos y los parámetros operativos.



### **3 HIPÓTESIS**

De acuerdo con el estado del arte y el marco teórico descrito anteriormente es posible plantear la siguiente hipótesis investigativa:

El proyecto a escala industrial de síntesis de celulosa (MCC) que usa en su proceso el LI EMIM[AoC], es más sostenible que el proceso convencional acetosolv, debido a que presenta una mayor viabilidad financiera y un menor impacto potencial al ambiente y a la salud humana.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la sostenibilidad de un proyecto a escala industrial de síntesis de celulosa, que utiliza en su proceso el uso de líquidos iónicos (EMIM[AoC]) y residuos agroindustriales de flores (biomasa lignocelulósica).

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la viabilidad económica de un proyecto a escala industrial de síntesis de celulosa, que incorpora en su proceso el uso de líquidos iónicos como solventes verdes y residuos agroindustriales de flores como biomasa, en comparación con el proceso convencional de pulpeo de celulosa acetosolv.
- Identificar los impactos al medio ambiente y a la salud humana entre el proceso industrial de síntesis de celulosa que emplea el líquido iónico (EMIM[AoC]) y el proceso convencional de pulpeo acetosolv, por medio de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV).
- Analizar de manera comparativa la sostenibilidad entre el proceso industrial de síntesis de celulosa que emplea el líquido iónico (EMIM[AoC]) y el proceso convencional de pulpeo acetosolv, integrando los resultados obtenidos de la viabilidad económica y del ACV.



## 5 METODOLOGÍA

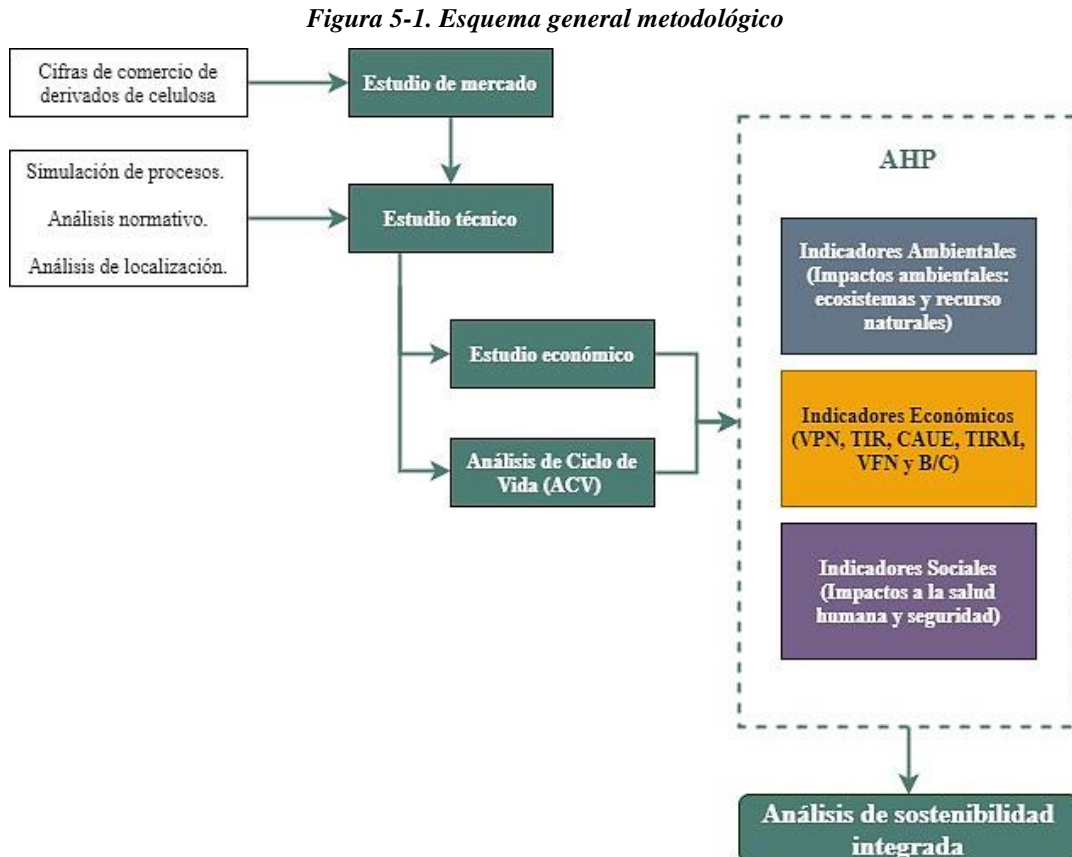
A continuación, se describe la metodología utilizada para dar alcance a los objetivos planteados en este trabajo de investigación. Esta se resume en el desarrollo de un estudio de mercado sobre el comercio colombiano e internacional de celulosa microcristalina. Un estudio técnico donde se simula el proceso productivo convencional (acetosolv) y otro alternativo (LI EMIM[AoC]) para fabricación de celulosa microcristalina, a partir de los resultados obtenidos por Vásquez (2015).

A partir de los resultados del estudio de mercado y el estudio técnico, se procedió a realizar un estudio económico que arrojó como resultado una evaluación financiera con indicadores que miden la viabilidad de los proyectos. Luego, con los resultados de los flujos de materia y energía simulados en el estudio técnico se desarrolló un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que permitió cuantificar los impactos socioambientales de cada proceso.

Finalmente, los resultados de los indicadores de la evaluación financiera y los resultados del ACV obtenidos para ambos procesos se integran por medio de un análisis multicriterio mediante el método del Proceso Analítico Jerárquico o AHP por sus siglas en inglés (Analytic Hierarchy Process), con el cual se establece el grado de sostenibilidad para cada proceso industrial estudiado.

### 5.1 FLUJOGRAMA METODOLÓGICO

En la Figura 5-1 se muestra el flujograma del proceso metodológico planteado para el desarrollo de la “Evaluación de la sostenibilidad de la síntesis de celulosa; mediante el uso de líquidos iónicos (EMIM[AoC]) y residuos agroindustriales (flores), a escala industrial”.



## 5.2 ESTUDIO DE MERCADO

Con el fin de analizar el comportamiento actual y futuro del mercado de celulosas especiales y proporcionar información válida para determinar la viabilidad financiera del desarrollo de un proceso industrial de síntesis de celulosa microcristalina (MCC) con un enfoque de sostenibilidad; se desarrolló un estudio de mercado a un nivel pre-factibilidad, de la siguiente manera:

### 5.2.1 Análisis de comercio internacional de celulosa microcristalina

Se identificó inicialmente la partida y subpartida arancelaria con la cual se comercializa internacionalmente los productos relacionados con la MCC (sin especificar tipo de presentación, uso o calidad de producto), y la cual corresponde al código *3912.90 Celulosa y sus derivados químicos, no expresados ni comprendidos en otra parte, en formas primarias* (excluidos: acetatos de celulosa, nitratos de celulosa y éteres de celulosa).

Se usó la plataforma TRADE MAP (ver Figura 5-2) del Internacional Trade Center (ITC); la cual proporciona información de los flujos comerciales mensuales, trimestrales y anuales de exportaciones e importaciones de alrededor 5.300 productos y cuenta con una cobertura de 220 países.

Figura 5-2. Entorno de la herramienta TRADE MAP para el producto 3912.90

The screenshot shows the TRADE MAP interface with the following search criteria: Product: 391290 - Celulosa y sus derivados químicos, n.c.c.; Period: Annual series; Unit: US Dollars. The table below represents the data extracted from the 'Tabla' view.

SAB	Importadores	Valor importado en 2001	Valor importado en 2002	Valor importado en 2003	Valor importado en 2004	Valor importado en 2005	Valor importado en 2006	Valor importado en 2007	Valor importado en 2008	Valor importado en 2009	Valor importado en 2010	Valor importado en 2011	Valor importado en 2012	Valor importado en 2013	Valor importado en 2014	Valor importado en 2015	Valor importado en 2016	Valor importado en 2017	Valor importado en 2018	Valor importado en 2019*	Valor importado en 2020
	Mundo	392.923	379.905	453.729	538.331	558.894	637.004	713.323	846.403	760.245	867.860	1.006.764	1.123.477	1.068.087	1.128.151	1.029.664	1.058.049	1.115.517	1.230.103	1.202.637	
	India	7.586	7.241	10.083	10.605	13.235	18.096	21.643	32.354	32.523	45.707	54.470	59.601	60.190	59.556	54.027	78.699	84.776	133.188	137.925	
	China	26.503	28.281	35.600	42.051	47.595	60.504	66.878	72.736	73.874	93.906	115.568	120.087	127.916	132.291	128.400	128.570	146.103	156.151	127.347	122.085
	Japón	18.243	17.695	17.644	22.031	27.631	40.332	44.021	60.980	51.633	48.825	62.189	78.276	52.929	62.192	68.881	55.760	59.285	76.306	81.860	77.173
	Estados Unidos de América	14.798	14.339	32.903	39.792	35.231	41.541	40.245	55.724	45.074	46.317	65.430	67.403	65.931	63.240	56.280	60.139	65.695	71.168	62.307	66.358
	Alemania	27.360	19.910	25.152	33.156	38.196	38.787	48.931	54.038	38.391	52.188	55.150	60.192	57.975	55.839	50.598	58.453	52.844	59.551	52.655	53.805
	Países Bajos	28.755	22.478	24.603	23.688	28.394	32.291	32.945	55.997	40.787	51.538	57.979	59.489	65.803	64.680	54.640	58.305	62.426	62.846	47.108	66.654
	Italia	14.924	17.310	19.482	23.573	25.125	25.142	32.788	37.177	28.798	34.450	45.427	44.319	43.371	40.533	38.090	35.011	38.585	39.971	42.170	39.760
	México	15.144	16.394	18.878	24.115	17.337	15.507	19.789	22.018	24.294	23.481	26.258	25.842	25.406	24.625	29.879	31.959	33.164	35.276	34.926	
	Indonesia	4.318	4.818	4.989	5.390	6.138	9.028	10.311	16.726	16.029	20.494	26.665	20.893	23.919	19.013	21.706	24.717	27.234	30.104	32.408	32.965
	Brasil	10.035	10.260	8.464	11.648	12.139	13.817	18.423	18.110	19.617	21.629	24.525	25.137	27.495	27.589	27.965	26.195	26.599	28.930	29.388	21.028
	Polonia	1.109	1.119	1.649	2.346	5.187	8.485	6.065	8.386	11.892	9.084	11.204	10.413	14.075	15.950	13.351	23.939	21.633	24.207	28.257	20.657

Por medio del TRADE MAP, se descargó información correspondiente a los valores en dólares americanos (USD) y cantidades en toneladas (t) de las importaciones y exportaciones anuales desde el 2001 al 2019, para la subpartida arancelaria 3912.90.

Posteriormente se consolidaron series de tiempo anuales en una hoja de cálculo, desde el año 2001 hasta el 2019, para los ítems denominados: “Cantidad importada, Toneladas” y “Valor (Dólar americano miles USD)”, tanto para registros de exportaciones como de importaciones. Luego se empleó la herramienta *Previsión* de Microsoft Excel 2016, para hacer pronósticos o proyecciones hasta el año 2030 de los flujos comerciales históricos.

La herramienta *Previsión*, utiliza el método de suavizado exponencial. Adicionalmente, para cada proyección se analizaron diferentes escenarios y se escogieron los que presentaron medidas de error más bajas (Tabla 5-1).

**Tabla 5-1. Medida de error de las previsiones seleccionadas**

Estadístico Previsión	Exportaciones		Importaciones	
	Xv	Xw	Mv	Mw
$\alpha$	0,500	0,900	0,002	0,002
$\beta$	0,250	0,001	0,001	0,001
$\gamma$	0,000	0,000	0,000	0,000
MASE	0,755	0,491	0,746	0,481
SMAPE	0,058	0,031	0,058	0,024
MAE	5,87,E+07	6439,12	6,36,E+07	5069,36
RMSE	7,20,E+07	8048,34	6,94,E+07	6639,68

Se determinó la balanza comercial internacional entre exportaciones e importaciones para la serie de tiempo entre los años 2001 y 2019, utilizando la Ecuación 5-1, luego se realizó el gráfico correspondiente (Figura 6-2).

**Ecuación 5-1. Balanza comercial internacional**

$$Bc = Xv - Mv$$

Donde:

*Bc*: Balanza comercial mundial

*Mv*: Importaciones en dólares (USD) CIF

*Xv*: Exportaciones en dólares (USD) FOB.

Finalmente, con los datos mundiales se determinó el porcentaje de participación de los países en el flujo, tanto de importaciones como de exportaciones de la partida arancelaria 391290, para el promedio de las cantidades (t) tranzadas entre 2001 y 2019. Se promediaron inicialmente las cantidades exportadas (Xw) e importadas (Mw) por país con el uso de la función “=PROMEDIO (número1, [número2], ...)” de Microsoft Excel y, posteriormente, graficando el porcentaje de participación de los países que registran sus flujos comerciales en la plataforma TRADE MAP.

**5.2.2 Flujos comerciales de MCC en Colombia**

Para determinar el flujo comercial de exportaciones e importaciones de MCC para Colombia, se utilizó el módulo “Estadísticas de comercio exterior” del sistema de inteligencia comercial *Legiscomex*; donde se descargaron las bases de datos mensuales entre el primero de enero de 2009 y el 31 de diciembre de 2020, en formato hoja de cálculo de Microsoft Excel 2016 (Figura 5-3).

Los registros de las bases de datos descargadas fueron validados con los datos obtenidos de la herramienta TRADE MAP para Colombia, se ajustaron valores totales anuales y se conformaron tablas dinámicas para facilitar el manejo de los datos.

Figura 5-3. Entorno de Legiscomex para el producto 391290

**legiscomex**

**Estadísticas**

Región: América | País: Colombia | Tipo de intercambio: IMPORTACION

Rango de tiempo:  
 Puede seleccionar un rango de tiempo de máximo un año para su consulta por país.  
 Desde: Enero 2009 | Hasta: Diciembre 2020

Tipos de Consulta:  
 Consulta Detallada  Consulta Acumulada

**Agregar Filtros**

Filtrar por:  
 Puede agregar filtros por varias variables de la siguiente lista:  
 Código Partida  
 Individual  Rango

**Filtro**

Código Partida	Descripción
3912900000	Las demás celulosas y sus derivados químicos, no expresados ni comprendidos en otras partidas, en formas primarias.

**Variables:**  
 Estas son las variables predeterminadas que se mostrarán en las columnas de su reporte. Puede eliminar o agregar variables según su necesidad.

- Cantidad(es)
- Cantidad Bultos
- Ciudad del proveedor
- Datos de contacto
- Departamento del Importador
- Dirección del Exportador
- Dirección del Importador
- Documento de Transporte
- Fletes (USD)
- NIT del importador
- País de origen
- País del exportador
- Peso en kilos brutos
- Proveedor
- Razón social del importador
- Total arancel
- Total IVA
- Valor FOB (USD)

Se consolidaron series de tiempo anuales desde el año 2009 hasta el 2020, para los ítems denominados: “Peso en kilos netos”, “Valor FOB (USD)” y “Valor CIF (USD)”, tanto para registros de exportaciones como de importaciones. Luego se empleó la herramienta *Previsión* de Microsoft Excel 2016 para hacer pronósticos o proyecciones hasta el año 2030 de los flujos comerciales históricos, tal y como se explicó en el numeral 5.2.1 (Tabla 5-2).

Tabla 5-2. Medida de error de las previsiones seleccionadas

Estadístico Previsión	Exportaciones		Importaciones		Demanda		Precio Unitario
	Xv	Xw	Mv	Mw	Dv	Dw	PU
$\alpha$	0,002	0,10	0,75	0,50	0,50	0,50	0,90
$\beta$	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\gamma$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>MASE</b>	0,44	0,43	0,32	0,52	0,32	0,59	1,08
<b>SMAPE</b>	0,38	0,95	0,10	0,18	0,10	0,20	0,27
<b>MAE</b>	7,90,E+04	41,992	5,71,E+05	274,75	5,66,E+05	301,76	43,96
<b>RMSE</b>	8,68,E+04	42,464	6,54,E+05	331,55	6,64,E+05	364,23	48,32

También se determinó la balanza comercial de manera similar a la descrita en el numeral 5.2.1 y se usó la Ecuación 5-1. Finalmente, se realizó la correspondiente gráfica (Figura 6-5).

### 5.2.3 Segmentación del mercado de la MCC

Debido a que la MCC tiene diferentes usos comerciales ya sea en aplicaciones médicas, químicas, farmacéuticas, entre otras y con el fin desde realizar un análisis con mayor profundidad se segmentó el mercado de este producto identificando la utilización de la MCC en la industria farmacéutica como excipiente.

Para determinar los flujos comerciales de los excipientes en Colombia se utilizó la base de datos llamada: “Principales variables cadena industria Farmacéutica (2002-2019)”; suministrada por el Departamento Nacional de Planeación de Colombia (DPN) y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), actualizada para el Julio 1 de 2020 (DANE & DPN, 2020).

Se seleccionaron las variables correspondientes a:

- Exportaciones (USD FOB)
- Importaciones (USD CIF)
- Balanza Comercial
- Producción (USD)
- Empleo (personas)

A partir de los datos de exportaciones e importaciones, se consolidaron series de tiempo y se calculó la balanza comercial de este segmento por medio de la Ecuación 5-1, citada anteriormente.

Luego, se calculó la demanda de excipientes para Colombia por medio de la Ecuación 5-2, donde se plantea una diferencia entre los producido e importado, frente a los valores exportados.

#### *Ecuación 5-2 Demanda o consumo aparente*

$$D = (PD + Mv) - Xv$$

Donde:

*D*: Demanda o consumo aparente (USD)

*PD*: Producción de excipientes (USD)

*Mv*: Importaciones (USD)

*Xv*: Exportaciones

Finalmente, se elaboraron las proyecciones del mercado de excipientes desde el año 2020 hasta el año 2030, por medio del uso de la herramienta *Previsión* de Microsoft Excel<sup>®</sup>. Se verificaron diferentes escenarios donde se escogieron las previsiones con estadísticos de errores menores (Tabla 5-3).

Cabe aclarar que, para el ítem de producción de excipientes no se realizó una proyección del flujo comercial, debido a que los datos no presentaban una variabilidad en los 17 años de registro y no presentaban una tendencia clara que permitiera realizar un pronóstico futuro.

**Tabla 5-3. Medida de error de las previsiones seleccionadas**

Estadístico Previsión	Xv	Mv	E	D
$\alpha$	0,25	0,1	0,9	0,998
$\beta$	0,001	0,001	0,001	0,001
$\gamma$	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16
MASE	4,52E+00	7,69E-01	1,97E+00	1,11E+00
SMAPE	6,88E-01	1,03E-01	6,95E-02	1,77E-01
MAE	2,67E+05	9,66E+05	5,80E+01	1,84E+06
RMSE	3,21E+05	1,38E+06	6,18E+01	2,59E+06

### 5.3 ESTUDIO TÉCNICO

El estudio técnico permite determinar la capacidad de producción, la tecnología a utilizar, la definición del proceso de producción, los balances de materia y energía, el dimensionamiento básico de la planta y de los equipos del proceso, la identificación de los requerimientos normativos y la localización geográfica del proyecto.

#### 5.3.1 Simulación de los procesos de síntesis de celulosa en ASPEN PLUS®

Para la simulación de los procesos químicos de la actual investigación se utilizó el software ASPEN PLUS®, partiendo de los resultados obtenidos por Vásquez (2015) y Vásquez et al., (2019) en el grupo de investigación SIDCOP (Simulación, diseño, control y optimización de procesos) de la Universidad de Antioquia.

En dicho trabajo se identificó que el proceso de síntesis de celulosa (celulosa microcristalina) a partir de residuos de flores como biomasa y el uso LI EMIM[AoC] (1-etil-3-metil imidazolium), son alternativas económicamente atractivas para la obtención de celulosa, debido al reducido impacto ambiental evaluado. En el estudio se empleó el proceso acetosolv como línea base, ya que existe un conocimiento del proceso a escala industrial y en la literatura se dispone de las etapas y condiciones de operación lo suficientemente bien especificadas; además, las simulaciones que se desarrollaron con este proceso mostraron cierta viabilidad económica. En ese estudio la estimación del potencial de sostenibilidad no tuvo en cuenta costos asociados a la compra de equipos, adecuación de instalaciones físicas, mano de obra, consumo energético y puesta en marcha de un proyecto con estas características de producción. El análisis se centró en estimar las ganancias generadas en el proceso a la luz de los costos de materias primas y producto terminado (Vásquez, 2015 y 2019).

Por lo tanto, para el presente trabajo investigativo se realizará una comparación técnica de un proceso a escala industrial comparando el proceso convencional de síntesis de celulosa “acetosolv” y un proceso alternativo que emplea el LI EMIM[AoC] como solvente. El estudio técnico avanza respecto a lo identificado previamente y servirá como información base para determinar los impactos ambientales y establecer cual proceso presenta mayor sostenibilidad.

Los procesos químicos simulados se ajustaron para una capacidad de producción de 300 t/mes (3600 t/año) de MCC, que va acorde tanto con las cantidades que se importan como las que se pueden exportar desde Colombia de acuerdo a proyecciones de mercado realizadas (numeral 6.1). Esta capacidad productiva también va conforme con las cifras expuestas de producción

mundial que rondan las 100.000 t/año de MCC (Cieschewska et al., 2010) como se citó en Husgafvel et al. (2016) y lo documentado por Vanhatalo et al. (2014), sobre un nivel de producción industrial de 30.000 BDt/año de MCC.

Adicionalmente, tanto el método acetosolv como el método con EMIM[AoC], simulan una planta que integra en su proceso las actividades de pulpeo y las de obtención de un derivado de celulosa con las características de la MCC, como lo planteó Vanhatalo et al. (2014).

Para las simulaciones desarrolladas en ASPEN PLUS<sup>®</sup> se utilizó el modelo termodinámico NRTL-ELEC (Non Random Two Liquids – Electrolytes, el cual se utiliza en sistemas que contienen electrolitos y fue concebido a partir del modelo NRTL (Non Random Two Liquids) el cuál es aplicable a sistemas parcialmente miscibles (Song, & Chen, 2009). Varios trabajos en la literatura han reportado a partir del ajuste de datos experimentales y simulaciones que los modelos NRTL son adecuados para representar el comportamiento de sistemas que incluyen líquidos iónicos como componentes (Zhang et al, 2016; Aniya et. el. 2018; Zhu et al. 2020). Debido al alcance del presente trabajo de investigación no se ahondará en la explicación de las ecuaciones matemáticas, términos y parámetros que constituyen los modelos termodinámicos NRTL y NRTL-ELEC.

### ***5.3.1.1 Proceso convencional de síntesis de celulosa método acetosolv***

En la Figura 5-4 se presenta el diagrama de flujo para la obtención de celulosa mediante la tecnología acetosolv, la cual se denominará “MCC-Ac” y corresponde a una modificación de lo publicado por Vásquez et. al. (2019). El método termodinámico empleado en la simulación fue el NRTL (Non Random Two Liquids) de acuerdo a lo descrito por Vásquez et. al. (2019).

La simulación inicia con una trituración o molienda de la biomasa lignocelulósica, posteriormente ingresa a la unidad de mezcla donde se pone en contacto con ácido acético, el ácido clorhídrico y agua. Luego, esta mezcla se bombea a un reactor, en el cual ocurre la hidrólisis ácida de la biomasa a una temperatura de 403,15 K y 400.000 N/m<sup>2</sup> de presión. A la salida del reactor se obtiene una corriente compuesta de celulosa, hemicelulosa, xilosa, lignina, grupos acetilo, ácido acético, furfural y agua. Esta mezcla se lleva a equipos de separación sólido-líquido, líquido-líquido y líquido-vapor. Después de este tren de separación es posible obtener corrientes separadas de celulosa, licores ricos en lignina, xilosa y recuperar y recircular una fracción de los solventes (ácido acético y ácido clorhídrico).

Las composiciones de las corrientes de entrada y salida, así como las condiciones de proceso pueden consultarse en el capítulo 6 de resultados y discusiones, más adelante.





Figura 5-5. Método acetosolv para obtención de MCC (sección a)

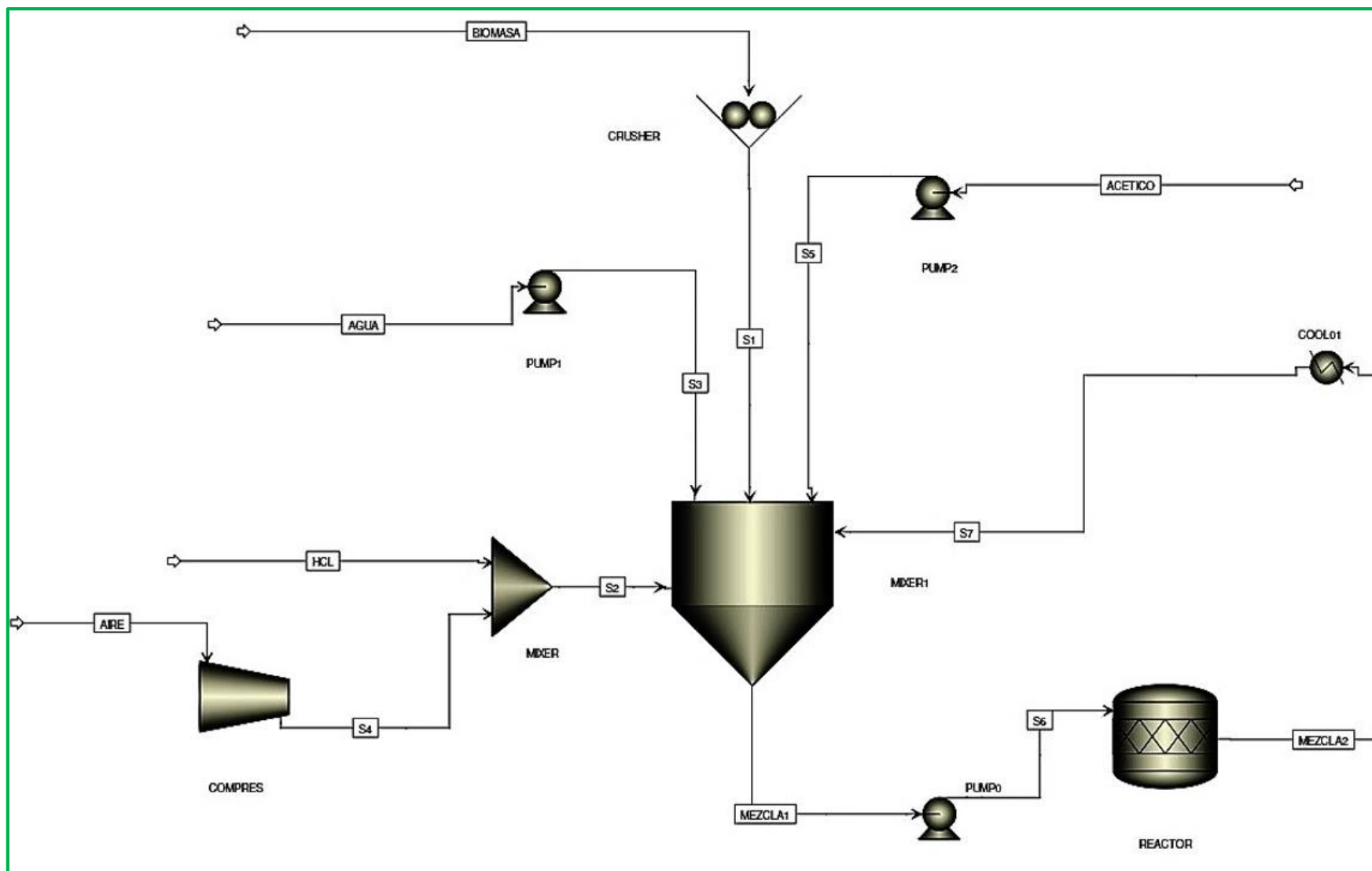


Figura 5-6. Método acetosolv para obtención de MCC (Sección b)

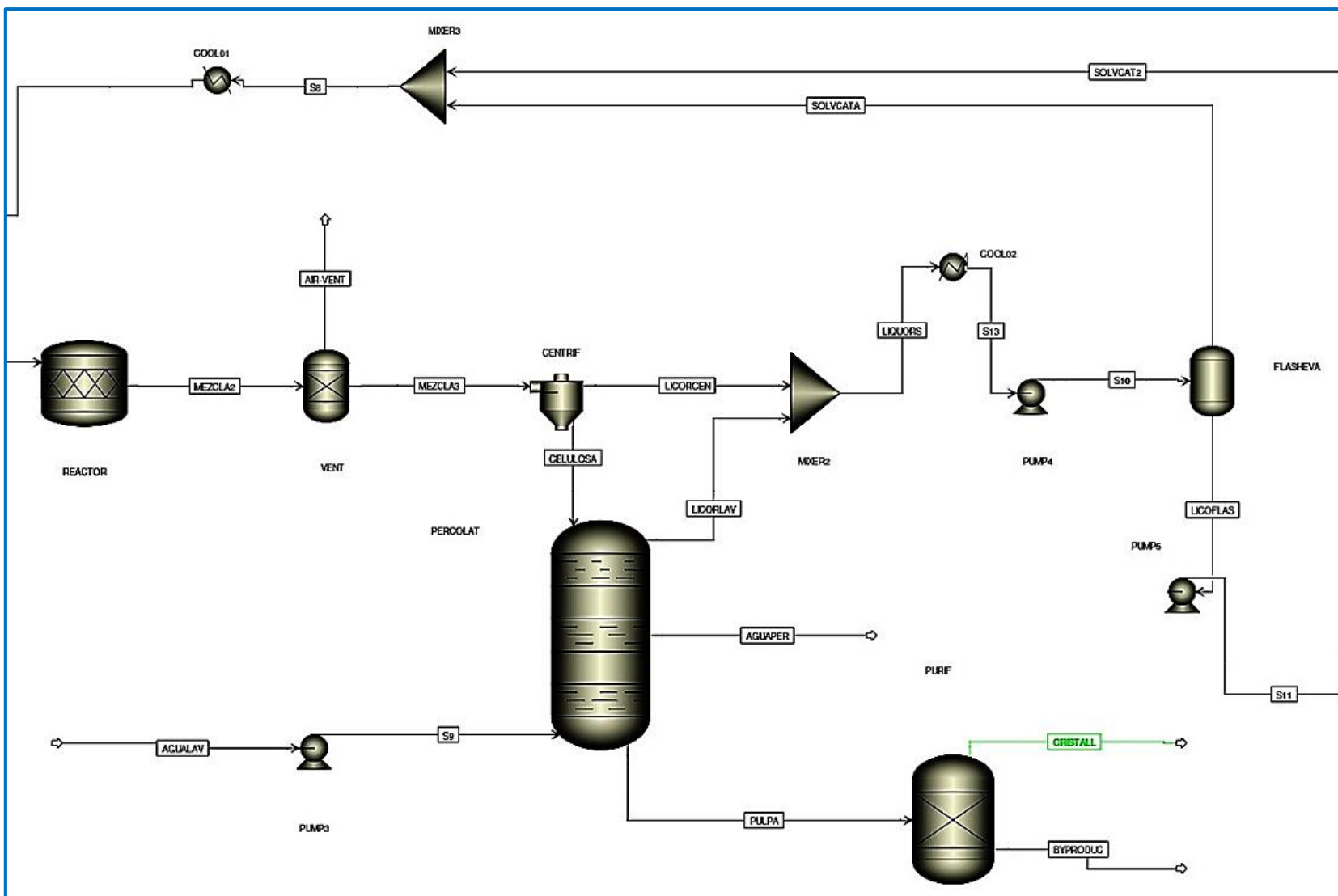
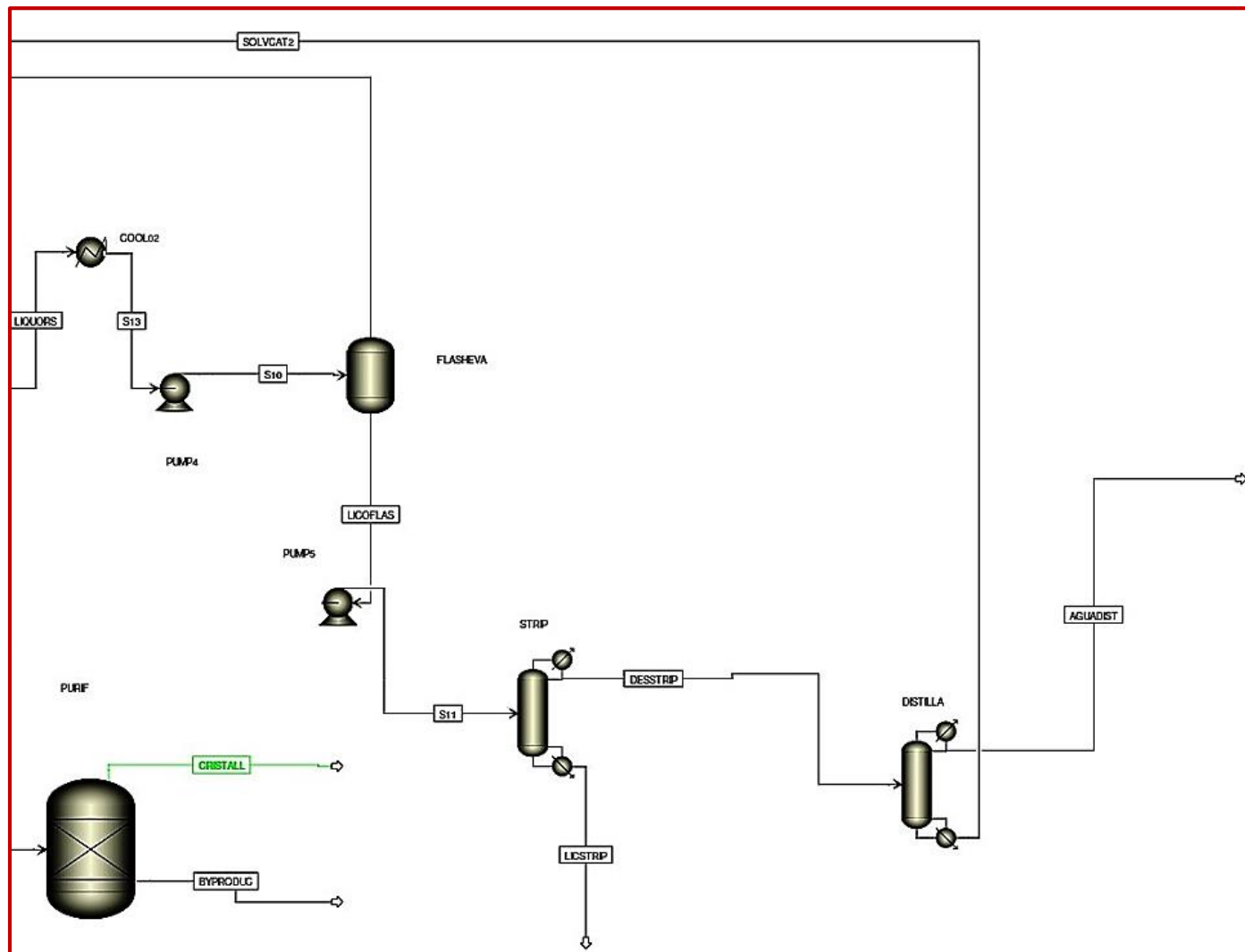


Figura 5-7. Método acetosolv para obtención de MCC (Sección c)



### **5.3.1.2 *Proceso alternativo de síntesis de celulosa método con el LI EMIM[AoC]***

En la Figura 5-8, se presenta el diagrama de flujo del proceso sintetizado para la obtención de celulosa a partir de residuos de flores empleando el LI 1-ethyl-3-metilimidazolium acetato (EMIM[AoC]), el proceso se llamará “MCC-IL”. La síntesis de este proceso se realizó con base en lo propuesto por Vásquez et. al. (2019), utilizando el modelo termodinámico NRTL (Non Random Two Liquids) (Vásquez et al., 2019).

El proceso de simulación comienza con la disolución de los residuos de flores (tallos, hojas y flores secas) en el LI a 298,82 K y 1,50 atmósferas de presión. Luego se adiciona dimetilsulfóxido (DMSO) al LI para disminuir su viscosidad. El DMSO no interactúa en el proceso de disolución de la biomasa y la celulosa es disuelta en la mezcla EMIM[AoC]/DMSO. Posteriormente, la adición de hidróxido de sodio (NaOH) permite la separación de la celulosa en un mezclador a 389,02 k y 2,50 atmosferas de presión. La fracción líquida generada durante esta etapa es una mezcla acuosa de LI/DMSO/hemicelulosa/lignina y otros compuestos solubles. La adición de etanol en medio ácido permite la precipitación de los sólidos remanentes en la corriente del LI. El etanol agregado en esta etapa es recuperado por destilación, y el hidróxido de sodio es removido del LI como NaCl mediante la reacción con ácido clorhídrico. Finalmente, la mezcla EMIMAoC/DMSO puede ser recirculada al inicio del proceso donde se mezcla con la biomasa (Vásquez et al., 2019).

Las composiciones de las corrientes de entrada y salida, así como las condiciones de proceso, pueden consultarse en el capítulo 6 de discusión y análisis de resultados, más adelante.

Figura 5-8. Método con EMIM[AoC] para obtención de MCC

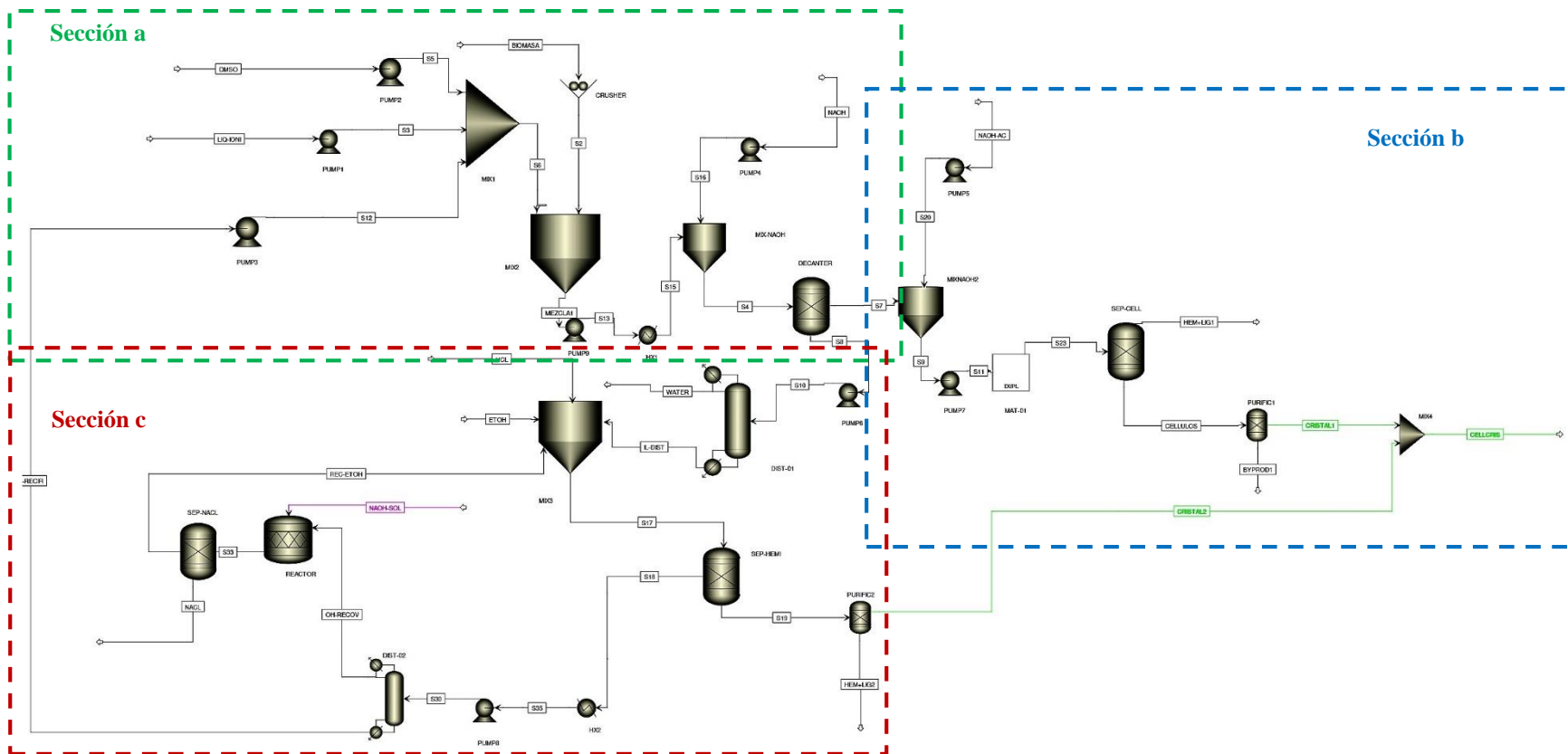


Figura 5-9. Método con EMIM[AoC] para obtención de MCC (sección a)

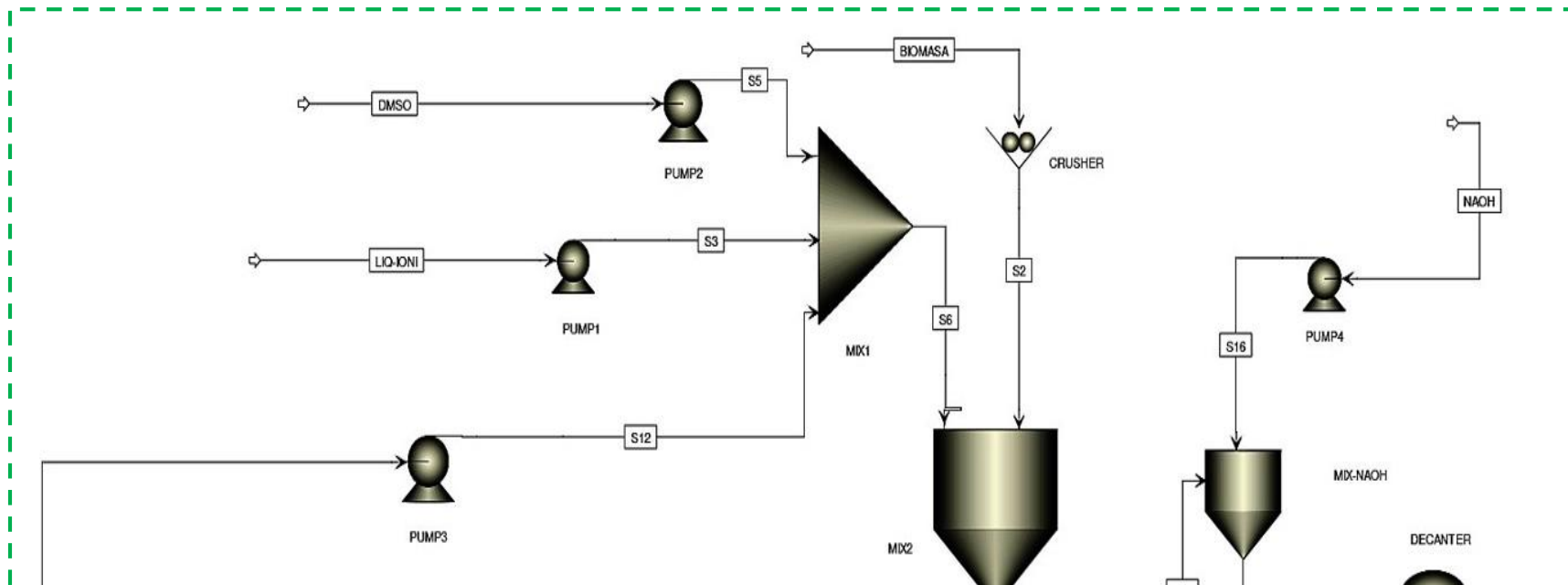


Figura 5-10. Método con EMIM[AoC] para obtención de MCC (sección b)

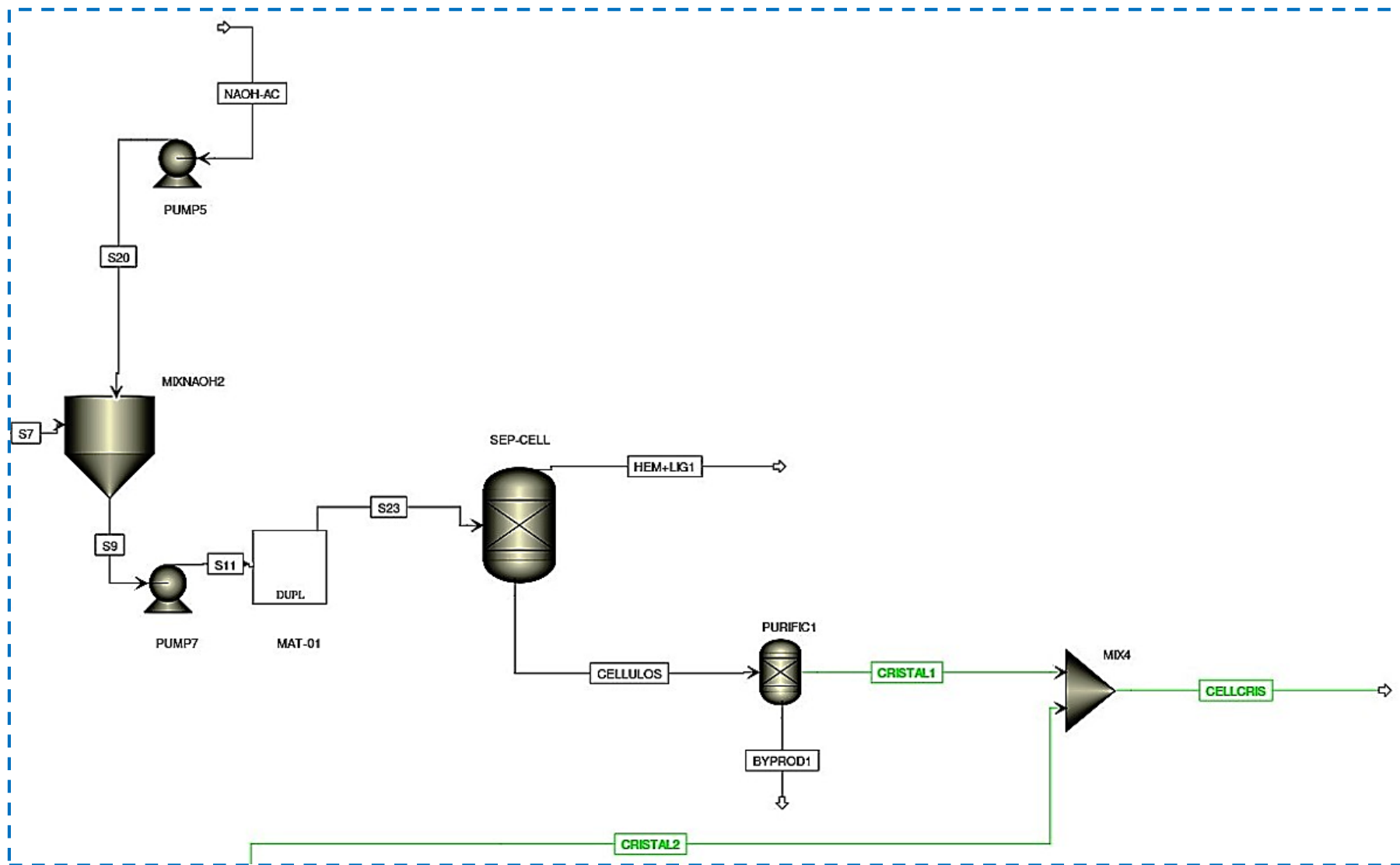
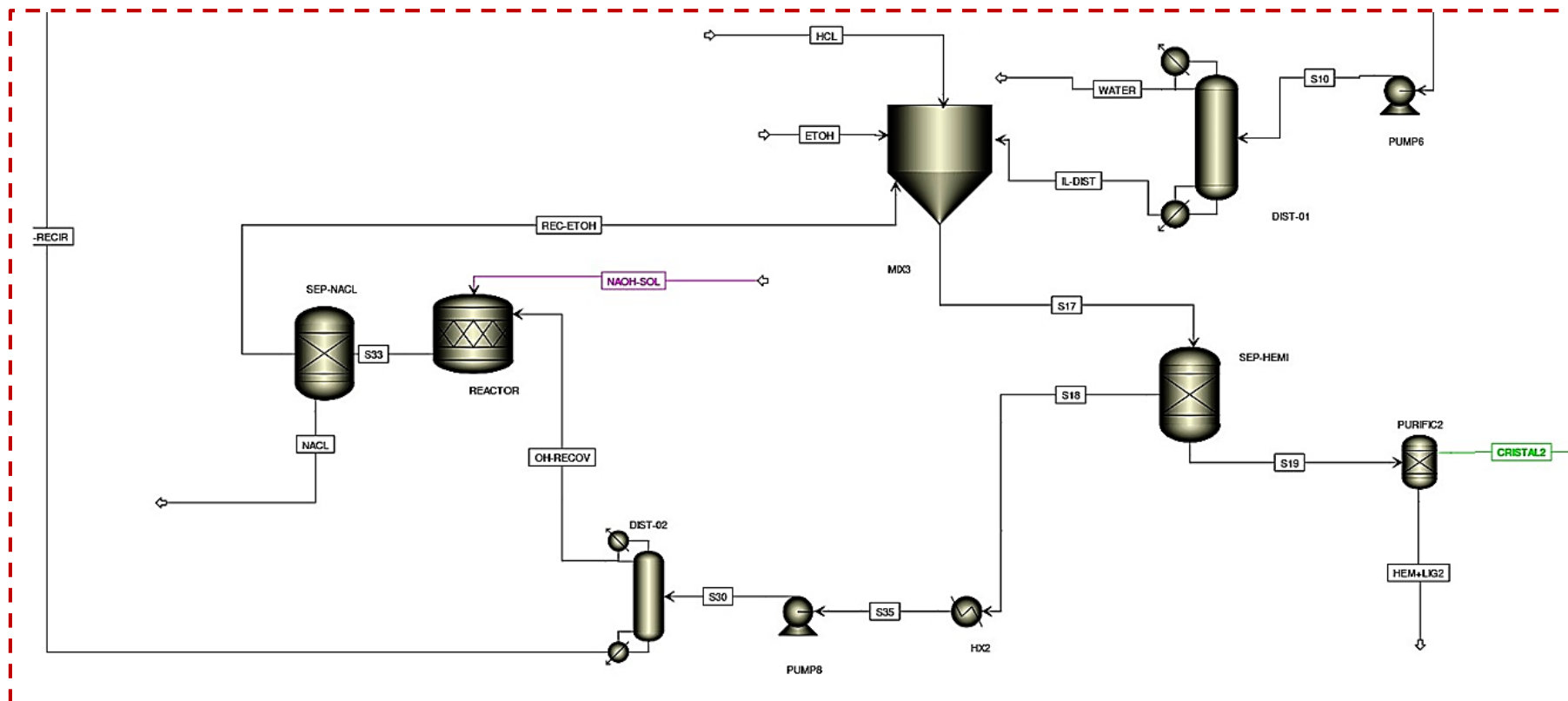


Figura 5-11. Método con EMIM[AoC] para obtención de MCC (sección c)





### 5.3.2 Análisis de localización

Como parte del estudio técnico se realizó un análisis de localización de la planta, el cual permite determinar el área de influencia del proyecto dentro de los ámbitos social, económico, ambiental y político, en un horizonte de tiempo (Gómez & Diez, 2015). Las decisiones de localización pueden determinar el éxito final de un proyecto y los errores en esta pueden afectar negativamente otras eficiencias.

Para el análisis de localización se contemplaron dos etapas: la primera se denomina *Macro localización*, donde se busca ubicar potencialmente el proceso de síntesis de MCC en una escala nacional y regional; la segunda se denomina *Micro localización*, en la cual se selecciona la alternativa más viable entre las regiones analizadas en la etapa anterior.

#### 5.3.2.1 Macro localización

A partir de los análisis obtenidos del estudio de mercado (numeral 6.1), se determinó que en Colombia se podría producir MCC como excipiente. En este sentido la macro localización en una escala nacional corresponde a Colombia.

Luego fue necesario determinar a escala regional en cuales zonas del país seleccionado se podría ubicar un proceso industrial de síntesis de celulosa. Es entonces que a partir del trabajo investigativo desarrollado por Vásquez (2015 y 2019), donde se concluyó que, debido alto potencial de rentabilidad económica, reducido impacto adverso al ambiente y mínima exergía destruida, la alternativa más atractiva es el proceso de obtención de celulosa a partir de residuos de flores y el uso del líquido iónico EMIM[AoC] es la alternativa más atractiva.

Por lo anterior, se utilizó en esta investigación los residuos de flores como materia prima para la síntesis MCC. Las regiones del país que mayores residuos agroindustriales generan en el sector floricultor corresponden a los departamentos de Cundinamarca y Antioquia (ver numeral 6.2.2.1).

Así mismo, los lugares con mayores áreas cultivadas por flores para los departamentos mencionados se muestran en la Tabla 5-4 y estos lugares fueron las alternativas que se seleccionaron durante el análisis de micro localización.

**Tabla 5-4. Macro localización**

Departamento	Municipio
Antioquia	La Ceja
	Rionegro
	Carmen de Viboral
Cundinamarca	Chía
	El Rosal
	Madrid

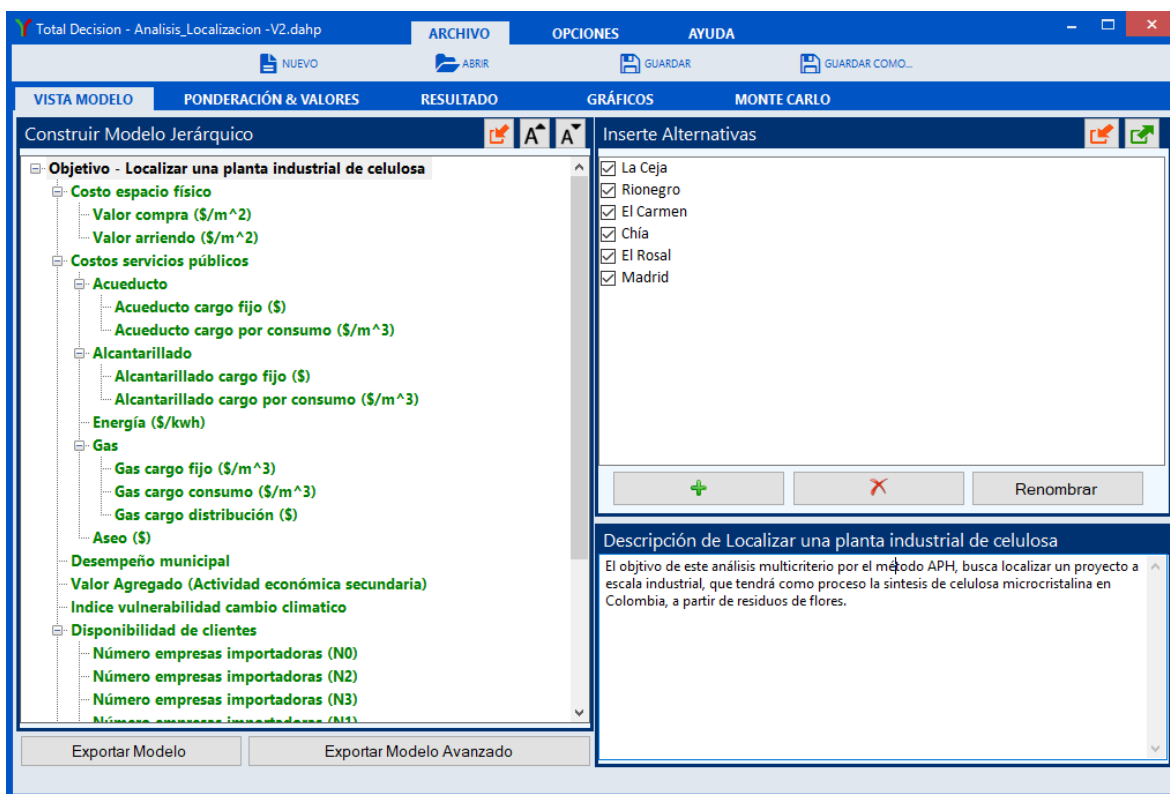
Se aclara que los demás insumos, reactivos o equipos y maquinarias relacionados con el proceso industrial de síntesis de celulosa no se contemplaron durante los análisis de macro

y micro localización, dado que no se consideraron relevantes para la toma de decisiones porque se considera que no tienen efectos marcados sobre los aspectos decisivos para la localización.

### 5.3.2.2 Micro localización

Para el análisis de micro localización se utilizó el software Total Decision<sup>®5</sup> (Figura 5-12), el cual utiliza el método de análisis multicriterio denominado Proceso Analítico Jerárquico o AHP por sus siglas en inglés (Analytic Hierarchy Process); empleando variables cualitativas y cuantitativas frente a un objetivo y diferentes alternativas.

Figura 5-12. Entorno del software Total Decisión<sup>®</sup>



Inicialmente se formuló el objetivo del análisis multicriterio por el método APH, el cual buscó localizar un proyecto a escala industrial, que tendrá como proceso la síntesis de celulosa microcristalina en Colombia, a partir de residuos de flores.

Luego se ingresaron al software las seis (6) alternativas de localización correspondientes a las ciudades en la Tabla 5-4. Y se formularon siete (7) criterios de selección: *Costo espacio físico*, *Costos servicios públicos*, *Desempeño municipal*, *Valor Agregado (Actividad económica secundaria)*, *Índice de vulnerabilidad cambio climático*, *Disponibilidad de clientes*, *Cercanía a puertos y aeropuertos* (Tabla 5-5 y Figura 5-12).

<sup>5</sup> Total Decision<sup>®</sup>: es un software gratuito especializado en análisis multicriterio bajo el método AHP, y fue desarrollado por la empresa de consultoría de proyectos chilena VILENIO (<http://www.vilenio.com/>).

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

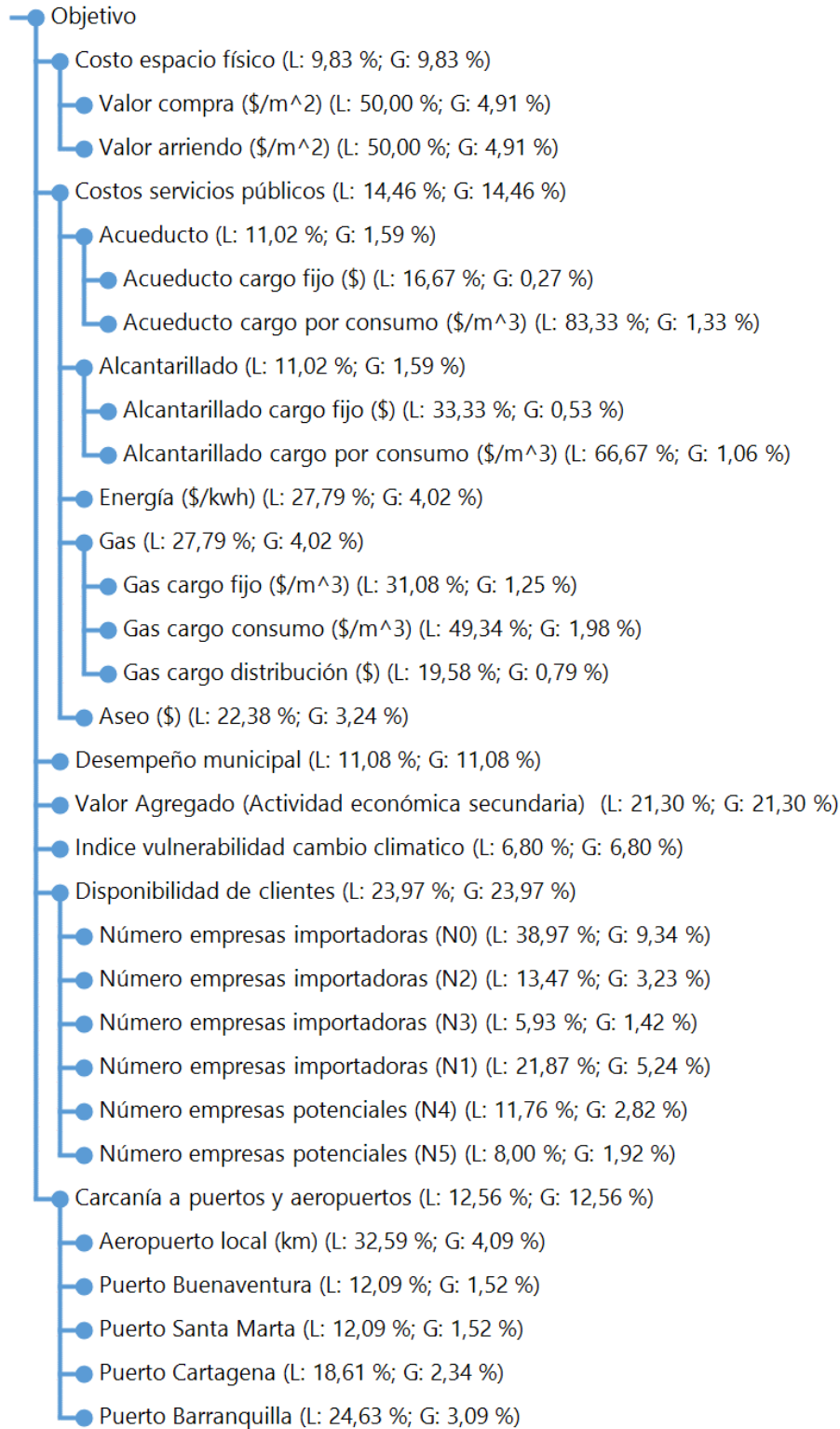
**Tabla 5-5. Criterios del modelo jerárquico**

<b>Criterio</b>	<b>Criterio nivel 1</b>	<b>Criterio nivel 2</b>	<b>Descripción</b>
Costo de espacio físico		Valor compra (\$/m <sup>2</sup> )	Se consultaron los valores por metro cuadrado para compra o arriendo de bodegas industriales, debidamente constituidas, que cuenten con características como red contra incendios, servicios públicos, vigilancia, parqueaderos, tratamiento de aguas residuales, acopio temporal de residuos sólidos, entre otros.
		Valor arriendo (\$/m <sup>2</sup> )	
			Entre menor costo por metro cuadrado será mejor el subcriterio.
Costos servicios públicos	Acueducto	Acueducto cargo fijo (\$)	Se consultaron las tarifas de los servicios públicos vigentes, en las entidades correspondientes para cada una de las seis (6) alternativas.
		Acueducto cargo por consumo (\$/m <sup>3</sup> )	
	Alcantarillado	Alcantarillado cargo fijo (\$)	
		Alcantarillado cargo por consumo (\$/m <sup>3</sup> )	
	Energía (\$/kwh)		
Gas	Gas cargo fijo (\$/m <sup>3</sup> )	Entre menor sea el costo o tarifa, mejor será el subcriterio para cada alternativa.	
	Gas cargo consumo (\$/m <sup>3</sup> )		
		Gas cargo distribución (\$)	
Aseo (\$)			
			Por medio del aplicativo TerriData ( <a href="https://terridata.dnp.gov.co/">https://terridata.dnp.gov.co/</a> ), se consultó el desempeño municipal de cada alternativa.
Desempeño municipal			La Medición de Desempeño Municipal – MDM es una medición anual del Departamento Nacional de Planeación (DNP) de Colombia, para incentivar una mejor gestión territorial. En esta dimensión se encuentran todos los indicadores relacionados con la última medición y las comparaciones con los grupos de capacidades y otros promedios (departamentales o nacionales).
			Se trabajó con el resultado total de la MDM de acuerdo a los resultados obtenidos en gestión y resultados. Entre mayor sea la calificación mejor será el desempeño municipal de cada alternativa.
			Por medio del aplicativo TerriData ( <a href="https://terridata.dnp.gov.co/">https://terridata.dnp.gov.co/</a> ), se consultó el valor agregado de cada alternativa.
Valor Agregado (Actividad económica secundaria)			El valor agregado es un concepto usado en economía para referirse al valor económico adicional que adquieren los bienes y servicios durante el proceso de producción.
			Es decir, las materias primas tienen un valor, y a través del proceso productivo de la entidad territorial se transforman en bienes y servicios que tiene un valor diferente, obviamente mayor. La diferencia entre los valores de las materias primas y el valor final de los bienes y servicios es el valor agregado.

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Criterio	Criterio nivel 1	Criterio nivel 2	Descripción
			El porcentaje del valor agregado de la entidad territorial que se produce en cada rama de actividades económicas, es decir, se descompone el 100% del valor agregado según la rama de actividad económica desde la que fue producido.
			Con este valor agregado se busca diferenciar cual alternativa (municipio), ofrece un mayor desempeño de las actividades económicas secundarias (actividades industriales).
	Índice vulnerabilidad cambio climático		El análisis de Vulnerabilidad Multidimensional por Cambio Climático, permitirá y facilitará la toma de decisiones a distintas escalas territoriales con el fin de permitir la construcción de territorios climáticamente adaptados.
			Entre menos vulnerable sean las alternativa será mejor para la localización del proyecto.
Disponibilidad de clientes	Número empresas importadoras (N0)		Se cuantifican los posibles clientes que consumen MCC en Colombia a partir de las bases de datos de Legiscomex y del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA).
	Número empresas importadoras (N1)		<b>N0:</b> Número promedio de empresas importadoras (2017-2019) en el mismo departamento o ciudad.
	Número empresas importadoras (N2)		<b>N1:</b> Número promedio de empresas importadoras (2017-2019) en el departamento o ciudad próxima más cercana.
	Número empresas importadoras (N3)		<b>N2:</b> Número promedio de empresas importadoras (2017-2019) más cercanas: región costera / occidente.
	Número empresas potenciales (N4)		<b>N3:</b> Número promedio de empresas importadoras (2017-2019) más cercanas: región centro.
	Número empresas potenciales (N5)		<b>N4:</b> Número empresas potenciales en el mismo departamento o ciudad <b>N5:</b> Número empresas potenciales en el departamento o ciudad próxima más cercana.
			Ente mayor sea el número de clientes mejor será la alternativa.
Cercanía a puertos marítimos y aeropuertos	Aeropuerto local (km)		Corresponde a la distancia entre las alternativas y los aeropuertos locales José María Córdova y El dorado, que pueden ser utilizados para el transporte de insumos o de producto terminados.
	Puerto de Buenaventura (km)		
	Puerto de Santa Marta (km)		Adicionalmente, se determinan las distancias entre las alternativas y los principales puertos marítimos de Colombia, por donde se pueden recibir insumos para el proceso productivo y/o se pueden realizar exportaciones del producto terminado.
	Puerto de Cartagena (km)		
	Puerto de Barranquilla (km)		Entre menos distancia a aeropuertos y puertos marítimos, mejor será la alternativa.

**Figura 5-13. Modelo AHP para en análisis de micro localización en el software Total Decision®**



L: Se refiere al peso o importancia local asignado de cada criterio (criterio nivel 1 y2) y G: Se refiere al peso o importancia global asignado de cada criterio.

Una vez terminado el modelo jerárquico y el ingreso de las alternativas, se realizó la ponderación para obtener los pesos de los criterios y subcriterios, los cuales se evaluaron de manera directa para alcanzar el objetivo de identificar cuál de las seis (6) alternativas de localización es la más adecuada.

Para realizar la calificación de las ponderaciones se utilizó la escala de Saaty (Tabla 5-6).

**Tabla 5-6. Escala de Saaty**

Intensidad	Definición
1	Igual importancia
3	Moderadamente más importante un elemento que otro
5	Fuertemente más importante un elemento que en otro
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro
2, 4, 6 y 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores
$a_{ij} = 1/a_{ji}$	Recíprocos

Como modelo explicativo en la Figura 6-15, se muestra la matriz de ponderación para el objetivo. Se señala, que la ratio de inconsistencia<sup>6</sup> siempre fue menor al 10%; dando evidencia de un juicio informado<sup>7</sup>.

**Figura 5-14. Matriz de ponderación de criterios**

	Costo espacio físico	Costos servicios públicos	Desempeño municipal	Valor Agregado	Índice de vulnerabilidad cambio climático	Disponibilidad de clientes	Cercanía a puertos y aeropuertos
Costo espacio físico	1	1/2	1/2	1/2	2	1/2	1
Costos servicios públicos	2	1	2	1/2	2	1/2	1
Desempeño municipal	2	1/2	1	1/2	2	1/2	1/2
Valor Agregado	2	2	2	1	2	1/2	2
Índice de vulnerabilidad cambio climático	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/2
Disponibilidad de clientes	2	2	2	1	3	1	3
Cercanía a puertos y aeropuertos	1	1	2	1/2	2	1/3	1

Nota. Ratio de inconsistencia: 3,28%

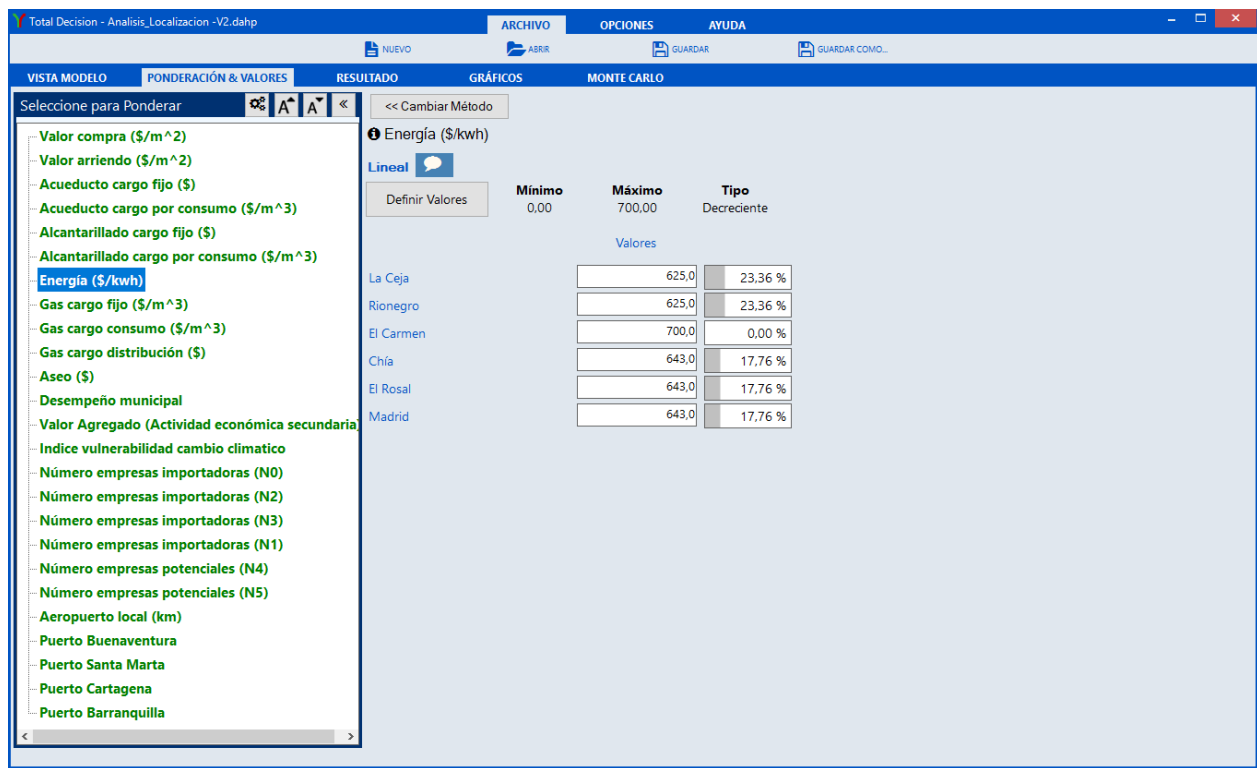
<sup>6</sup> La ratio o razón de inconsistencia está diseñado de manera que los valores que exceden el 10% son señalados como juicios inconsistentes, por lo cual el tomador de decisión o calificador de la matriz pareada reconsidere su calificación. Se considera que los valores inferiores al 10% en la ratio señalan un nivel razonable de la consistencia en las comparaciones pareadas.

<sup>7</sup> Los juicios en la matriz de ponderación son consistentes con respecto a la fijación de prioridades para los elementos con respecto a los criterios, permitiendo obtener resultados válidos.

Después de obtener la ponderación, se realizó la valoración de las alternativas con los criterios de último nivel por el método de comparación lineal, introduciendo los valores cuantitativos y cualitativos investigados; además, de establecer un valor mínimo y máximo, junto con el tipo de tendencia (creciente o decreciente).

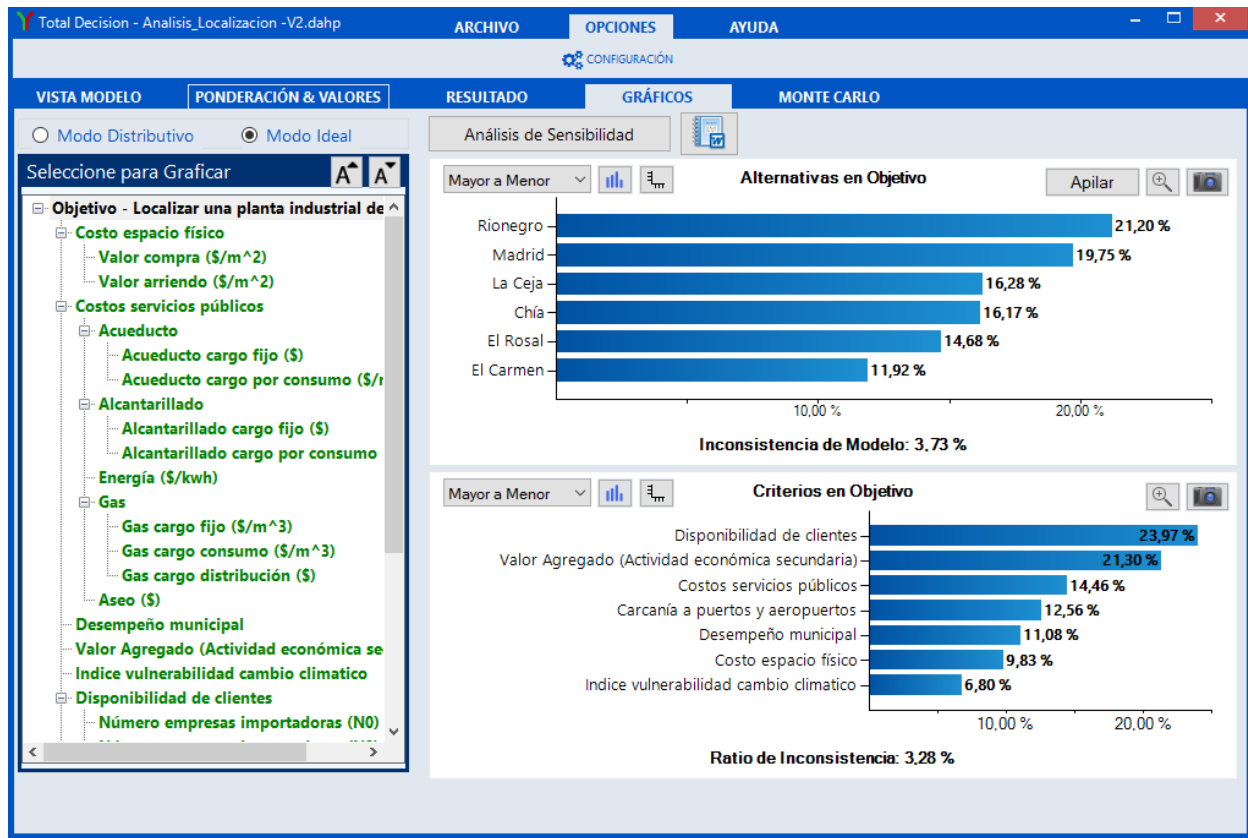
En la Figura 5-15, se muestra a modo de ejemplo la valoración de las alternativas para el criterio de “Energía (\$/kWh)”; donde se puede apreciar que los municipios de La Ceja y Rionegro presentan los mismos valores o costos en el consumo de energía (625 \$/kWh), mientras que los municipios del departamento de Cundinamarca registraron valores superiores (643 \$/kWh). El tipo de valoración en este caso corresponde a “Decreciente”, dado que entre menor sea el costo de la energía eléctrica será mejor la alternativa valorada.

**Figura 5-15. Entorno del software Total Decision® para la valoración de alternativas por criterio**



Luego de completar las evaluaciones de todos los criterios y subcriterios, se utilizaron las funciones de *RESULTADO* y *GRÁFICOS*, del software Total Decision®; y se determinó cuál de las alternativas formuladas correspondía a la mejor opción (Figura 5-16).

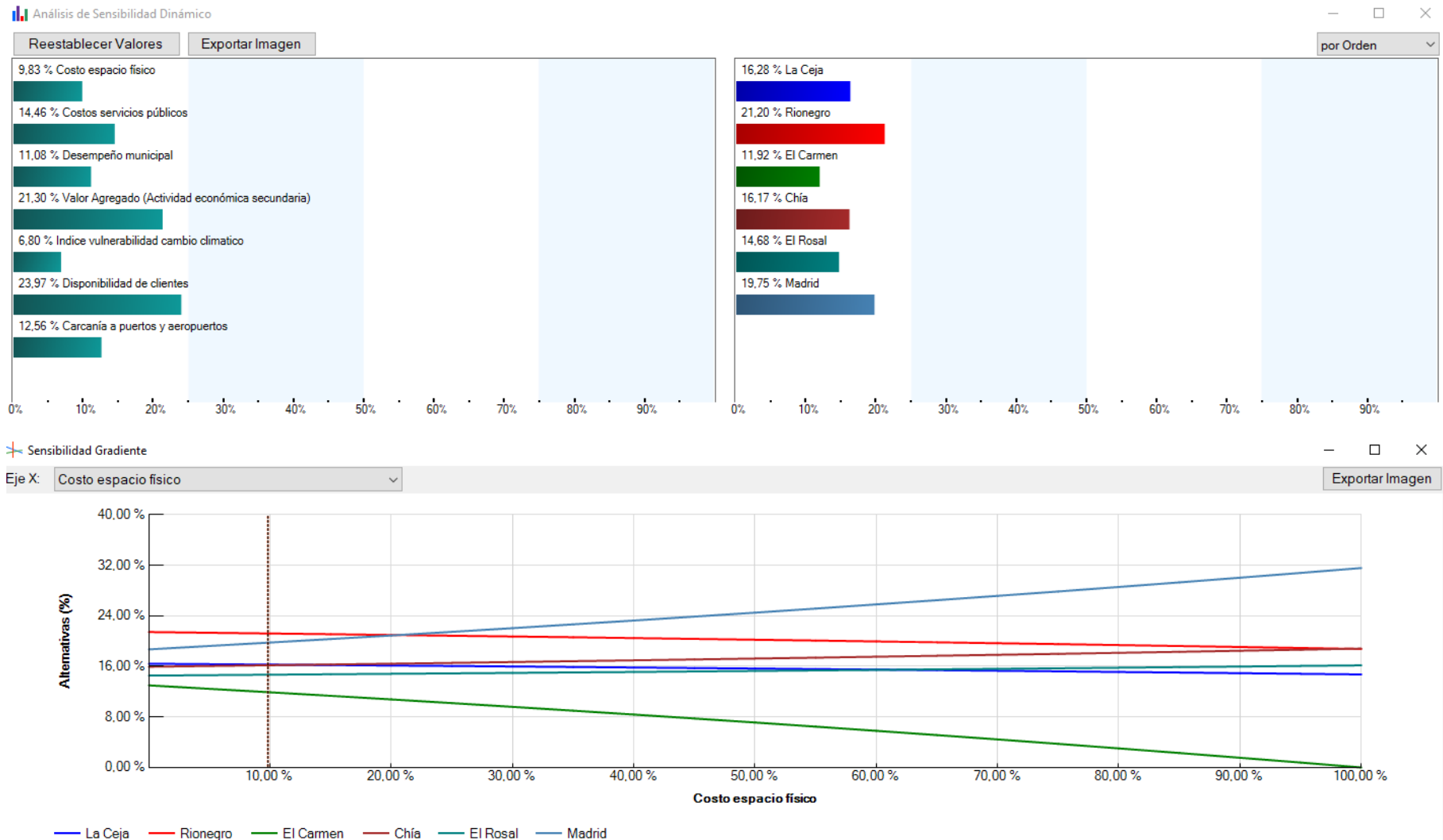
Figura 5-16. Entorno del software Total Decision® resultados del modelo multicriterio



Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad a los resultados del objetivo planteado en el análisis de micro localización (Figura 5-17).



Figura 5-17. Entorno visual del software Total Decisión análisis de sensibilidad



### 5.3.3 Análisis normativo y legal

Se consolidó una matriz legal, donde se compilaron los requisitos normativos exigibles al desarrollo de una actividad industrial de síntesis de MCC para las temáticas ambiental, técnica, sanitaria y comercial, como se puede observar en la plantilla modelo que aparece en la Tabla 5-7.

*Tabla 5-7. Modelo matriz legal*

Temática	Norma / Documento	Fecha de expedición	Entidad que lo publica	Descripción
**	**	**	**	**
**	**	**	**	**

## 5.4 ESTUDIO ECONÓMICO

Este estudio tiene el propósito de determinar la viabilidad económica del proyecto. Se proyectan las inversiones a realizar, los ingresos, los costos y gastos operacionales, con los cuales se construye el flujo de caja y los criterios de rentabilidad que apoya la toma de decisiones (Gómez & Diez, 2015).

A partir de los resultados obtenidos en el estudio de mercado se identificó la posibilidad de desarrollo de un proyecto industrial que sintetiza MCC, desde un punto de vista comercial. Se evaluó la demanda, oferta, balanza comercial y precio de referencia del producto, que tendría un uso como excipiente en la industria química farmacéutica y de alimentos.

A continuación, en función de las simulaciones efectuadas en el software ASPEN PLUS® para un proceso convencional y otro alternativo, se determinaron los flujos de materia y energía para la producción neta mensual de 300 t de celulosa microcristalina. Adicionalmente, se identificaron los equipos necesarios en los procesos y se estimaron sus tamaños y consumos energéticos nominales.

Teniendo una caracterización técnica de los procesos se procedió a cotizar y estimar los costos del proyecto de la siguiente manera:

### 5.4.1 Estimación de costos de mano de obra

La mano de obra fue estimada tomando como base los costos salariales mínimos legales vigentes del año 2021 para Colombia, como fija el Decreto 1785 de 2020. Además, se tuvo en cuenta la Escala de Mínimos de Remuneración de 2020 para personal calificado (Tabla 5-9), desarrollada por la Red de comunidades de graduados de Antioquia (Enlace profesional, 2020) y los porcentajes y costos asociados que implica un contrato laboral con las obligaciones legales de aportes en seguridad social, aportes en prestaciones sociales y aportes parafiscales según sea el caso (Tabla 5-8).

**Tabla 5-8. Salario Mínimo Legal Mensual (SMLM) y prestaciones sociales en Colombia**

COSTOS SALARIALES y NO SALARIALES AÑO 2021		OBSERVACIONES	FUENTE
<b>Contrato Laboral</b>	<b>SMLM* COP (mes)</b>	\$908.526,00	Salario mínimo mensual legal del año 2021 para la Republica de Colombia.
			Decreto por el cual se fija el salario mínimo mensual legal, Decreto 1785 de 2020
	<b>Auxilio de transporte COP (mes)</b>	\$106.454,00	Se paga si el salario es menor a 2 SMLV
			Decreto por el cual se fija el auxilio de transporte, Decreto 1786 de 2020
<b>Aportes de seguridad social</b>	<b>Salud Obligatoria (%) mes</b>	8,50%	Obligación de cotización del empleador
		4,00%	Obligación de cotización del trabajador
	<b>Pensión Obligatoria (%)</b>	12,00%	Obligación de cotización del empleador
		4,00%	Obligación de cotización del trabajador
	<b>ARL (Administradora de Riesgos Laborales)</b>		El empleador elige la ARL y de acuerdo al riesgo de la actividad, se asigna la tarifa del aporte:
	<b>Riesgo I (%)</b>	0,52%	Riesgo Mínimo
	<b>Riesgo II (%)</b>	1,04%	Riesgo Bajo
<b>Riesgo III (%)</b>	2,44%	Riesgo Medio	
<b>Riesgo IV (%)</b>	4,35%	Riesgo Alto	
<b>Riesgo V (%)</b>	6,96%	Riesgo Máximo	

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

COSTOS SALARIALES y NO SALARIALES AÑO 2021		OBSERVACIONES	FUENTE
Prestaciones Sociales	Prima de servicios (%)	8,33%	Equivalente a un salario mensual por cada año de trabajo, se provisiona
	Auxilio Cesantías (%)	8,33%	La liquidación de las cesantías se hará el último día de cada año o al finalizar el contrato, pero se provisiona mensual o quincenalmente a una tarifa del 8.33% sobre el la base de liquidación.
	Intereses de cesantías (%)	12,00%	La tasa de 12,00% es anual
	Dotación COP (mes)	\$130.000,00	Se entrega 4 veces al año para empleados que ganen menos de 2 SMLV
	Vacaciones	4,17%	Los trabajadores que hubieren prestado sus servicios durante un año tienen derecho a quince (15) días hábiles consecutivos de vacaciones remuneradas
Aportes Parafiscales	Cajas de compensación (%)	4,00%	Lo pagan todos los empleadores
	Instituto Colombiano de Bienestar Familiar – ICBF (%)	3,00%	Se paga por aquellos empleados que tengan un sueldo igual o superior a 10 salarios mínimos.
	Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA (%)	2,00%	Se paga por aquellos empleados que tengan un sueldo igual o superior a 10 salarios mínimos.

Decreto Ley número 2663 de 1950, sobre Código Sustantivo del Trabajo

Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo, Decreto 1072 de 2016

Ley por la cual se introducen reformas al Código Sustantivo del Trabajo, Ley 50 de 1990

Decreto Ley número 2663 de 1950, sobre Código Sustantivo del Trabajo

Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo, Decreto 1072 de 2016

Decreto Ley número 2663 de 1950, sobre Código Sustantivo del Trabajo

Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo, Decreto 1072 de 2016

Ley 21 de 1982, Por la cual se modifica el régimen del Subsidio familiar y se dictan otras disposiciones

Decreto Ley número 2663 de 1950, sobre Código Sustantivo del Trabajo

Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo, Decreto 1072 de 2016

Los rangos salariales de personal calificado para el año 2021 se calcularon aplicando un factor multiplicativo del 3,5 % (Decreto por el cual se fija el salario mínimo mensual legal, Decreto 1785 de 2020), que representaría el incremento nominal porcentual del salario mínimo legal vigente entre el año 2020 y 2021, como se puede observar en la Tabla 5-9.

**Tabla 5-9. Rangos salariales personal calificado en Colombia**

Perfil trabajador	Salario 2020 (COP)	Salario 2021 (COP)
Magister con experiencia en el área de formación (>1 - 3 años)- Bilingüe	\$5.030.000,00	\$5.206.050,00
Especialista con experiencia en el área de formación (>1 - 3 años) – Bilingüe	\$4.230.000,00	\$4.378.050,00
Especialista con experiencia en el área de formación (>1 - 3 años)	\$3.750.000,00	\$3.881.250,00
Profesional con experiencia en el área de formación (>1 - 3 años) - Bilingüe	\$3.140.000,00	\$3.249.900,00
Profesional con experiencia en el área de formación (>1 - 3 años)	\$2.521.000,00	\$2.609.235,00
Tecnólogo con experiencia en el área de formación (> 1 - 3 años)	\$1.610.000,00	\$1.666.350,00
Técnico con experiencia en el área de formación (> 1 - 3 años)	\$1.016.000,00	\$1.051.560,00

*Nota.* Cálculos propios con información de Enlace Profesional (2020)

Una vez identificados los costos salariales y no salariales de la mano de obra en los que debe incurrir un empleador en Colombia, se estimó la cantidad de empleados y jerarquía laboral en una industria del sector químico que sintetiza celulosa (celulosa microcristalina). A continuación, se muestran las fórmulas utilizadas para el cálculo de los costos de mano de obra y cuyos resultados se presentan con mayor detalle en el numeral 6.3 y en el Anexo 1.

Para calcular los aportes de seguridad social (salud obligatoria, pensión obligatoria y ARL), en los que debe incurrir un empleador en Colombia se tuvieron en cuenta los procedimientos estipulados en la Ecuación 5-3, la Ecuación 5-4y la Ecuación 5-5.

***Ecuación 5-3. Aportes de salud obligatoria (empleador)***

$$\text{Aporte Salud obligatoria empleador (mes)} = \text{Salario(mes)} \times 8,50\%$$

***Ecuación 5-4. Aportes en pensión obligatoria (empleador)***

$$\text{Aporte Pensión obligatoria empleador(mes)} = \text{Salario(mes)} \times 12,00\%$$

***Ecuación 5-5. Aportes para la entidad administradora de riesgos laborales ARL (empleador)***

$$\text{Aporte ARL(mes)} = \text{Salario(mes)} \times \text{Tipo de riesgo (\%)}$$

Con respecto a los aportes de prestaciones sociales (prima de servicios, cesantías, intereses sobre cesantías y dotación), en los que incurre un empleador en Colombia se utilizaron las expresiones que se muestran a continuación en la Ecuación 5-6, Ecuación 5-7, Ecuación 5-8 y Ecuación 5-9.

**Ecuación 5-6. Aportes de prima de servicios (empleador)**

$$\text{Aporte prima de servicios (mes)} = \text{Salario (mes)} \times \text{días trabajados} \div 360$$

**Ecuación 5-7. Aportes a cesantías (empleador)**

$$\text{Aporte cesantías(mes)} = \text{Salario (mes)} \times \text{días trabajados} \div 360$$

**Ecuación 5-8. Aportes para los intereses a las cesantías (empleador)**

$$\text{Aporte intereses cesantías (mes)} = \text{Salario (mes)} \times \text{días trabajados} \times 0,12 \div 360$$

**Ecuación 5-9. Aportes para dotación de empleados (empleador)**

$$\text{Aporte dotación (año)} = \text{COP } 130.000,00 \times 4$$

Finalmente, para determinar los aportes parafiscales (cajas de compensación, ICBF y SENA), en los que incurre un empleador en Colombia se utilizó la expresión de la Ecuación 5-10 y se tuvieron en cuenta los criterios que se describieron en la Tabla 5-8.

**Ecuación 5-10. Aportes para dotación de empleados (empleador)**

$$\text{Aporte parafiscal (mes)} = \text{Salario (mes)} \times \text{Porcentaje aporte parafiscal (\%)}$$

## 5.4.2 Estimación de costos de constitución de empresa

Se consultaron los costos establecidos legalmente para constituir empresa, de esta forma los procesos productivos empleados tendrían soporte legal (Tabla 5-10).

**Tabla 5-10. Gastos de constitución**

Norma	Permiso	Descripción	Año 0 Costo (COP)	Año 1 Costo (COP)
Ley 1575 de 2012 y Concepto 012 de 2002, "Se refiere al Concepto de Legalidad Inspección Técnica de Bomberos"	Certificado de Bomberos	Precio de referencia para Bogotá, con duración anual	\$60.000	\$60.000
Resolución No. 2020046413 del 30 de diciembre de 2020	Licencia Sanitaria	Análisis de materias primas, aditivos, otros. Cód. 2049	\$1.393.138	\$1.393.138
Decreto 1756 del 23 de diciembre de 2020, que reglamenta el artículo 129 de la Ley 2063 de 2020.	Cámara de comercio Registro Mercantil	Constitución y registro de la sociedad, matrícula persona jurídica e inscripción de libros + Formulario para registro mercantil	\$115.200	\$0,0
Decreto 1756 del 23 de diciembre de 2020	Renovación anual registro mercantil	Tarifa de la renovación anual del registro mercantil efectuado durante los tres (3) primeros meses del año siguiente	\$1.180.850	\$1.180.850
<b>Total</b>			<b>\$2.749.188</b>	<b>\$2.633.988</b>

### 5.4.3 Tarifas de servicios públicos

Para calcular los costos atribuidos al consumo de agua, energía eléctrica y gas; además de los costos de vertimiento a alcantarillado de aguas residuales tratadas provenientes de los procesos industriales estudiados (MCC-Ac y MCC-IL); se consultaron las tarifas de servicios públicos para los municipios de análisis de localización. En la Tabla 5-11 se ilustran las tarifas de servicios públicos del municipio de Rionegro.

**Tabla 5-11. Tarifas servicios públicos municipio de Rionegro, Antioquia (Colombia)**

Servicio	Unidad	Tarifa (COP)
Acueducto (EPM, 2021a)	Cargo Fijo (COP/ Instalación)	\$9.161,61
	Cargo por consumo (COP/m <sup>3</sup> )	\$4.204,85
Alcantarillado (EPM, 2021a)	Cargo Fijo (COP/ Instalación)	\$5.269,12
	Cargo por consumo (COP/m <sup>3</sup> )	\$3.373,68
Energía (EPM, 2021b)	Tarifa Industrial (COP/kwh)	\$722,80
Gas (EPM, 2021c)	Cargo fijo (COP/m <sup>3</sup> )	\$2.567,56
	Cargo consumo (\$/m <sup>3</sup> )	\$1.544,68
Aseo (Río Aseo Total, 2021)	Fija	\$18.200,08
	Aprovechamiento (COP/t)	\$254.324,60

El cálculo del costo por consumo se realiza bajo la siguiente ecuación:

#### *Ecuación 5-11. Costo consumo por servicios públicos*

$$\text{Costo Consumo} = \text{Tarifa servicio público} \left( \frac{\text{COP}}{\text{Unidad servicio}} \right) \times \text{Cantidad consumida}(\text{Unidad servicio})$$

### 5.4.4 Costos de materias primas

Los costos de sustancias químicas y reactivos de los procesos MCC-Ac y MCC-IL se determinaron multiplicando la cantidad consumida al mes por el precio unitario identificado por medio de cotizaciones hechas a proveedores colombianos e internacionales de químicos.

### 5.4.5 Costos transporte de residuos de flores

La biomasa para la obtención de MCC presentada en este estudio corresponde a los residuos de flores de los cultivos del oriente antioqueño, específicamente los ubicados entre los municipios de El Carmen de Viboral, La Ceja y Rionegro. Los residuos de flores no tienen un valor comercial y normalmente una porción de estos se destina para compostaje, otra se envía a rellenos sanitarios y otra se quema. En muchas fincas floricultoras los residuos son regalados con la condición de transportarlos. En ese sentido, el costo de los residuos de flores corresponde al valor de recogida y transporte desde las fincas productoras hasta la planta de obtención de MCC.

Según CYPE Ingenieros S.A (2021), el valor de transportar un 1m<sup>3</sup> de residuo de material vegetal es de \$23.259,46 COP, en un camión tipo volqueta de dos ejes y con capacidad de transporte de 15m<sup>3</sup>. Para los cálculos mensuales de flores requeridas en el proceso químico se utilizó la

densidad de material vegetal de 0,3 t/m<sup>3</sup> (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico -Gobierno de España, 2021).

#### 5.4.6 Costos máquinas y equipos

A partir de la simulación realizada en ASPEN PLUS<sup>®</sup> se determinaron el número de máquinas y equipos para los procesos estudiados (MCC-Ac y MCC-IL), adicionalmente se estimaron las potencias nominales de cada equipo para poder realizar las cotizaciones de una manera más aproximada. Cabe aclarar que los equipos simulados no se diseñaron, debido a que el presente estudio se enmarca en un nivel de prefactibilidad y utiliza tanto datos primarios como secundarios.

La cantidad total de equipos para el proceso MCC-Ac es de veintinueve (29) y la del proceso MCC-IL es de cuarenta (40).

**Tabla 5-12. Equipos de proceso**

Proceso MCC-Ac		Proceso MCC-IL	
Nombre ASPEN PLUS <sup>®</sup>	Nombre Comercial	Nombre ASPEN PLUS <sup>®</sup>	Nombre Comercial
CRUSHER	Molino de cuchillas en acero inoxidable	CRUSHER	Molino de cuchillas en acero inoxidable
PUMP 1	Bomba centrífuga en acero inoxidable	DECANTER	Tanque decantador en acero inoxidable
PUMP 2	Bomba centrífuga en acero inoxidable	DIST 01	Torre empacada PALL 1,5 in en acero inoxidable, 15 cm, 2,5 m altura
COMPRES	Compresor centrífugo en acero inoxidable austénico	REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable
MIXER	Tanque mezclador	CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable
MIXER1	Tanque mezclador	DIST 02	Torre empacada PALL 1,5 in en acero inoxidable, 20 cm, 5 m altura
PUMP 0	Bomba centrífuga en acero inoxidable austénico	REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable
REACTOR	Reactor agitado continuo en acero inoxidable austénico con serpentín	CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable
VENT	Tanque separador en acero inoxidable de 200 L	HX1 (HEATER)	Intercambiador tubos y camisa en acero inoxidable
CENTRIF	Centrífuga en acero inoxidable austénico centrífuga para 265 ton/h	HX2 (COOLER)	Intercambiador tubos y camisa en acero inoxidable
MIXER2	Tanque mezclador	MIX-NAOH	Tanque mezclador
PUMP4	Bomba centrífuga en acero inoxidable austénico	MIX-1	Tanque mezclador
PERCOLAT	Tanque agitado con separaciones laterales en acero inoxidable austénico	MIX-2	Tanque mezclador
PUMP3	Bomba centrífuga en acero inoxidable austénico	MIX-3	Tanque mezclador
FLASHEVA	Separador flash + Intercambiador en acero inoxidable austénico	MIX-4	Tanque mezclador
PUMP5	Bomba centrífuga en acero inoxidable austénico	MIXNAOH2	Tanque mezclador



EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Proceso MCC-Ac		Proceso MCC-IL	
Nombre ASPEN PLUS®	Nombre Comercial	Nombre ASPEN PLUS®	Nombre Comercial
CONDENSA	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable austénico	PUMP 1	Bomba centrífuga en acero inoxidable
REBOILER	Rehervidor de tubos y camisa en acero inoxidable austénico	PUMP 2	Bomba centrífuga en acero inoxidable
DISTILLA	Torre destilación empacada de 0,54 m diámetro y 14 m altura en acero inoxidable	PUMP 3	Bomba centrífuga en acero inoxidable
CONDENSA	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable austénico	PUMP 4	Bomba centrífuga en acero inoxidable
REBOILER	Rehervidor de tubos y camisa en acero inoxidable austénico	PUMP 5	Bomba centrífuga en acero inoxidable
MIXER3	Tanque mezclador	PUMP 6	Bomba centrífuga en acero inoxidable
COOL01	Intercambiador de calor de tubos y camisa en acero inoxidable austénico	PUMP 7	Bomba centrífuga en acero inoxidable
COOL02	Intercambiador de calor de tubos y camisa en acero inoxidable austénico	PUMP 8	Bomba centrífuga en acero inoxidable
PURIF	Tanque separador en acero inoxidable de 200 L	PUMP 9	Bomba centrífuga en acero inoxidable
CONDENSA	Condensador	SEP-CELL (APROX)	Torre empacada PALL 1,5 in en acero inoxidable, día 15 cm, 2,5 m altura
REBOILER	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable	REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable
STRIP	Torre destilación empacada de 0,38 m diámetro y 8 m altura en acero inoxidable	CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable
	Empacador vertical	SEP-HEMI (APROX)	Torre empacada PALL 1,5 in en acero inoxidable, 15 cm, 2,5 m altura
		REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable
		CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable
		REACTOR (CO-OLING)	Reactor agitado continuo de 250L en acero inoxidable con serpentín
		PURIFIC1 (APROX)	Tanque separador en acero inoxidable de 200 l
		REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable
		CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable austénico
		PURIFIC2 (APROX)	Tanque separador en acero inoxidable de 200 l
		REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable
		CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable austénico
		SEP-NACL (APROX)	Tanque separador en acero inoxidable de 200 l
			Empacador vertical

Luego de determinar el costo comercial de cada equipo se realizó un ajuste a los valores del 12% por temas de importación (importación desde China a Colombia); igualmente, se realizó una corrección del 25% al valor del promedio de cambio entre el Peso colombiano (COP) y el Dólar americano par (USD) (\$1 USD = \$3.693,36 COP).

Una vez ajustados los costos de los equipos y máquinas compradas se realizó la estimación de la inversión de capital fijo (Fixed-Capital Investment (FCI)), adaptándose a las necesidades de los procesos estudiados, por medio de porcentajes que se le aplican al valor de los equipos comprados. Para poder realizar la estimación del FCI se escogieron porcentajes para cada inversión de acuerdo a lo recomendado por Peters, Timmerhaus & West (2003) (Tabla 5-13) y luego dichos valores se normalizaron para ajustar el 100%. Con respecto al cálculo de los valores de cada componente se multiplica inicialmente el valor del equipo comprado (costo comercial total de los equipos del proceso) por el porcentaje normalizado correspondiente y luego se divide por el valor del porcentaje que se le asignó al equipo comprado (Ecuación 5-12 y Ecuación 5-13).

**Tabla 5-13. Porcentajes típicos de valores de inversión de capital para plantas multipropósito**

Componente	Rango de porcentaje (%)
Equipo comprado	15-40
Instalación de equipos adquiridos	6-14
Instrumentación y control (instalada)	2-12
Tubería (instalada)	4-17
Sistema eléctrico (instalado)	2-10
Mejoras	2-5
Instalaciones de servicio (instaladas)	8-30
Ingeniería y supervisión	4-20
Honorario del contratista	2-6
Contingencia	5-15

Fuente. (Peters et al., 2003)

**Ecuación 5-12. Normalización porcentaje FCI (%)**

$$\% FCI \text{ Normalizado} = \left( \frac{\% FCI_{\text{Escogido}}}{\sum \% FCI} \right) \times 100$$

**Ecuación 5-13. Estimación de los componentes de la inversión de capital fijo**

$$\text{Costo FCI}(\$)^* = \frac{\text{Costo equipo comprado}(\$) \times \% FCI \text{ Normalizado}}{\% FCI \text{ Normalizado}_{\text{Equipo comprado}}}$$

\*El valor que arroja este procedimiento matemático se redondea hacia arriba la cifra de miles o millones más cercana

Fuente. (Peters et al., 2003).

### 5.4.7 Flujos de caja libre

De acuerdo con Gómez & Díez (2015), el Flujo de Caja (FC) es el resultado de restar los egresos de los ingresos de un periodo determinado. En la presente investigación se desarrolló el flujo de caja libre o flujo de caja del proyecto, en el cual se realizó la suposición de que todos los dineros son aportados por el inversionista y, por este motivo, el análisis se realiza sin aplacamiento financiero.

Inicialmente para definir el FC del Proyecto, se obtuvo el flujo de caja operativo para un periodo de 60 meses (5 años), teniendo en cuenta los costos, inversiones y gastos calculados previamente.

Entre las suposiciones tenidas en cuenta para los cálculos se tienen las siguientes:

- El Índice de Precios al Consumidor, IPC (%) Colombia = 5,0% Efectivo Anual y se utilizó para determinar los aumentos anuales de los costos.
- El incremento de la capacidad productiva fue del 1,8% de acuerdo al estudio de mercado y empieza a añadirse al cálculo a partir del segundo año de proyección.
- La producción de MCC comienza con un 40% en el mes dos (2), y va aumentando progresivamente 10% hasta el mes ocho (8), alcanzando la capacidad de diseño simulada en ASPEN PLUS® (300 t/mes de MCC).
- El porcentaje de mantenimiento de máquinas y equipos del proceso fue de 8%.
- El porcentaje de mantenimiento y consumibles (combustible) para vehículos (montacargas, minicargador y estibador) fue del 6%.
- El precio de venta mensual inicial de la MCC fue de \$319.290,972 COP/kg (\$86,45 USD/kg), correspondiente a la mitad del valor comercial determinado en el estudio de mercado (\$172,9 USD/kg). Este valor se tomó como referencia para ambos procesos estudiados (MCC-Ac y MCC-IL), procurando que las comparaciones de la evaluación financiera tuvieran las mismas condiciones.
- En la Tabla 5-14 se observan las tasas de cambio entre divisas utilizadas en el estudio.

**Tabla 5-14. Cambio divisas**

Tasa de cambio/Año	2018	2019	2020
1 USD (promedio año)	\$2.956,55 COP	\$3.281,09 COP	\$3.693,36 COP
1 EUR (promedio año)	\$3.499,50 COP	\$3.683,00 COP	\$4.260,75 COP

Fuente. Actualicese.com (2021) e Investing.com (2021).

- Los valores para las depreciaciones de activos tangibles se determinaron de la siguiente manera:
  - ✓ 10 años: Maquinaria y equipo.
  - ✓ 5 años: Vehículos y equipos de cómputo.

**Ecuación 5-14. Depreciación**

$$\text{Depreciación} = \text{Valor activo (\$)} / \text{año depreciación}$$

- La amortización se realizó para un periodo de años 5 años sobre los activos bienes intangibles como se muestra en la Ecuación 5-15.

**Ecuación 5-15. Amortización**

$$\text{Amortización} = \text{Valor activo (\$)} / 5$$

En la Tabla 5-15 se presenta el proceso general de consolidación del FC operativo empleada para los procesos estudiados en esta investigación (MCC-Ac y MCC-IL).

**Tabla 5-15. Flujo de caja operativo**

+ Ingresos operativos	Cantidades producidas x Precio venta producto*
<b>Costos:</b>	
- Costo total materias primas	$\sum$ (Costo reactivos, Costo Gas Natural, Costo Energía Eléctrica, Costo Consumo de Agua, Costo Alcantarillado)
- Costo Flores (transporte)	Costo de recolección de residuos de flores x IPC(%) <sub>a partir año 2</sub>
- Servicios domiciliarios (trabajadores)	$\sum$ (Costo servicios públicos para la dotación de trabajadores) x IPC(%) <sub>a partir año 2</sub>
- Nómina total	$\sum$ (Salarios trabajadores y prestaciones sociales) x IPC(%) <sub>a partir año 2</sub>
- Mantenimiento Maquinaria	Costo Total Maquinaria del Proceso x 8% x IPC(%) <sub>a partir año 2</sub>
- Consumibles y Mantenimiento	Costo Total (minicargador, montacargas, estibadores) x 6% x IPC(%) <sub>a partir año 2</sub>
- Alquiler	1.500 m <sup>2</sup> x 16.071 COP m <sup>2</sup> /mes) ...en el año dos (2): Alquiler (\$) x IPC (%) <sub>a partir año 2</sub>
<b>Depreciaciones :</b>	
- Maquinaria proceso	Costo Total Maquinaria Proceso / 10
- Minicargador, Montacargas y Estibador	Costo Total Minicargador, Montacargas y Estibador /5
- Equipos de Cómputo	Costo Total Equipos de Cómputo /5
<b>Amortizaciones:</b>	
- Instalación de equipos adquiridos	Costo Instalación de equipos adquiridos/5
- Instrumentación (instalación)	Costo Instrumentación (instalación) /5
- Tubería (instalación)	Costo Tubería (instalación) /5
- Eléctrico (instalación)	Costo Eléctrico (instalación) /5
- Mejoras en el patio	Costo Mejoras en el patio /5
- Instalaciones de servicio	Costo Instalaciones de servicio /5
- Ingeniería y supervisión	Costo Ingeniería y supervisión /5
- Honorario del contratista	Costo Honorario del contratista /5
- Contingencia	Costo Contingencia /5
= UAI (Utilidad Antes de Impuestos)	Ingresos - $\sum$ (Costos, Depreciación, Amortización)
- Impuesto	UAI x 32% (Si UAI > 0)
= UODI (Utilidad Operativa Después de Impuestos)	UAI - Impuesto
= Flujo de Caja Operativo	UODI + $\sum$ (Depreciación, Amortización)

\* El precio de venta mensual inicial de la MCC fue de \$319.290,972 COP/kg (86,45 USD/kg)

Luego de calcular el Flujo de Caja Operativo, se procedió a determinar la inversión en

activos fijos (**CAPEX**), la cual corresponde a la sumatoria de las inversiones en bienes tangibles como maquinaria y equipos; también la adquisición de bienes intangibles como la instalación eléctrica, de tuberías, de equipos, mejoras, contingencias entre otros.

Así mismo, se determinó el valor del **Capital de Trabajo**, el cual corresponde a los valores de los requisitos de la planta de síntesis de MCC para operar (Costo materia prima: Sustancias químicas, agua, gas natural, energía).

También se determinó el **Valor de Salvamento**, el cual corresponde a la venta de los activos del proyecto en el último año del periodo de evaluación del mismo.

Finalmente, el FC del Proyecto corresponde a la sumatoria entre FC Operativo y el FC de Inversión (Tabla 5-16).

**Tabla 5-16. Flujo de caja del proyecto**

=	<b>Flujo de Caja Operativo</b>	UODI + $\sum$ (Depreciación, Amortización)
=	<b>Flujo de Caja de Inversión</b>	Costo Inversión en Activos - Capital de Trabajo (Periodo 1)
=	<b>Flujo del Proyecto</b>	FC Operativo + FC de Inversión

#### 5.4.8 Evaluación financiera

Para realizar la evaluación financiera de los procesos industriales estudiados y determinar la viabilidad financiera de ambos (MCC-Ac y MCC-IL), se calcularon indicadores financieros por medio de la utilización de Microsoft Excel<sup>®</sup>. Para los cálculos de los indicadores la Tasa de Interés de Oportunidad<sup>8</sup> (TIO) para ambos procesos fue de 10% Efectivo Anual.

A continuación, se muestran las características y cálculos de los indicadores financieros:

- **Valor presente neto (VPN)**

Corresponde al método de evaluación financiera de proyectos más usado, en donde se mide la rentabilidad deseada luego de recuperar toda la inversión. Este método se adopta como criterio fundamental en la toma de decisiones financieras debido a que obedece al objetivo general de maximizar las utilidades del proyecto evaluado (Gómez & Díez, 2015).

**Ecuación 5-16. Calculo VPN**

$$VPN = \sum_{i=0}^n FCi (1 + TIO)^{-n}$$

Dónde: FCi: Flujo de caja, n: periodo de tiempo.

Criterios de análisis:

- ✓ Si VPN (TIO) > 0, significa que: VP (ingresos) > VP (egresos). Ganancia presente extraordinaria. El proyecto financieramente es factible.
- ✓ Si VPN (TIO) <= 0, el proyecto no da ganancias extraordinarias o da una “perdida”, no rinde a la TIO: se descarta financieramente.

<sup>8</sup> Tasa de interés de oportunidad TIO Es la tasa de interés mínima a la que el inversor, está dispuesto a ganar al invertir en un proyecto.

- ✓ Si los proyectos o alternativas de inversión tienen el mismo período de evaluación, será mejor el de mayor VPN.

En Microsoft Excel® no hay una forma directa de calcularlo, así que se utiliza la función “VNA”.

- **Tasa Interna de Retorno (TIR)**

Es la tasa que establece la equivalencia entre los ingresos y egresos de un proyecto; la TIR es el indicador de la rentabilidad de un proyecto, lo que indica que a mayor TIR mayor rentabilidad de este. Se emplea para aceptar o rechazar un proyecto de inversión (Gómez & Díez, 2015).

En Microsoft Excel® el indicador se calcula por medio de la función “TIR” (=TIR (FC Proyecto Período 0-n)).

Criterios de análisis:

- ✓ Si  $TIR > TIO$ , el proyecto financieramente se justifica.
- ✓ Si  $TIR = TIO$ , el proyecto rinde solo a la TIO.
- ✓ Si  $TIR < TIO$ , el proyecto financieramente se descarta.
- ✓ la TIR no es confiable para comparar varios proyectos. Es decir, no necesariamente es mejor el proyecto de mayor TIR.

Para comparar dos alternativas de proyecto se deben reducir los flujos de caja a uno y de esta manera evaluar la TIR, como se esquematiza a continuación en la Tabla 5-17.

**Tabla 5-17. Determinación comparativa de TIR para dos alternativas de proyecto (inversión extra)**

Periodo	Flujo de caja		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa (2-1)
0	$V1_{alt1} < V1_{alt2}$	$V1_{alt2} > V1_{alt1}$	$V1_{alt2} - V1_{alt1}$
1			
2			
n	$Vn_{alt1} < Vn_{alt2}$	$Vn_{alt2} > Vn_{alt1}$	$Vn_{alt2} - Vn_{alt1}$
<b>TIR efectiva anual para la diferencia</b>			<b>TIR (%)</b>

- ✓ Si  $TIR > TIO$ , la alternativa 2 es financieramente más viable que la alternativa.

- **Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE o VAE o CAE)**

Este indicador consiste en convertir todos los ingresos y egresos, en una serie uniforme de pagos.

**Ecuación 5-17. Calculo VAE**

$$VAE = VPN \left[ \frac{TIO}{1 - (1 - TIO)^{-n}} \right]$$

Dónde: n: periodo de tiempo.

En Microsoft Excel® se utiliza la función “PAGO” (=+PAGO (TIO; Período 0-n; VPN)).

Criterios de análisis:

- ✓ Si VAE (TIO) >0, implica una ganancia extraordinaria “anual” esto quiere decir que el proyecto financieramente es bueno.
- ✓ Si VAE (TIO) = 0, no hay ganancia extraordinaria.
- ✓ Si VAE (TIO) < 0, significa que financieramente el proyecto se descarta y mejor colocamos el dinero a la TIO.
- ✓ Es mejor financieramente el de mayor VAE, no importa que los períodos de evaluación sean diferentes

- **Tasa Interna de Retorno Modificada (TIRM)**

Corresponde a una TIR calculada con el supuesto que los ingresos del proyecto se reinvierten a la TIO (Ecuación 5-18).

*Ecuación 5-18. Calculo TIRM*

$$TIRM = \left[ \left( \frac{\text{Valor Futuro Ingreso}}{\text{Valor Presente Egreso}} \right) - 1 \right]^{1/n} \times 100$$

- ✓ Si TIRM > TIO, el proyecto es viable financieramente.
- ✓ Si TIRM=TIO, es un punto de indiferencia.
- ✓ Si TIRM < TIO, el proyecto se descarta financieramente.
- ✓ Si tienen igual período de evaluación, pero diferente inversión: se aplica el procedimiento de la inversión extra, de dos en dos.

En Microsoft Excel<sup>®</sup>, se utiliza la función “TIRM” :(TIRM (Período 0-n; TIO)).

- **Valor Futuro Neto Terminal (VFN o VTN)**

Corresponde a la ganancia o pérdida en el último año de proyección, se da en unidades monetarias (\$).

*Ecuación 5-19. Calculo VFN*

$$VPN = \sum_{i=0}^n FCi (1 \times TIO)^{-n}$$

*Dónde: FCi: Flujo de caja, n: periodo de tiempo.*

- ✓ Si VFN > 0, el proyecto es viable financieramente.
- ✓ Si VFN < 0, el proyecto no es viable financieramente.

En Microsoft Excel<sup>®</sup>, se utiliza la función “VF” :(=+VF (TIO; Periodo 0-n; VAE)).

- **Beneficio Costo B/C**

a) B/C Individual:

Este indicador resulta del cociente entre los valores presentes de todos los ingresos y todos los egresos descontados con la TIO del inversionista.

*Ecuación 5-20. Calculo B/C individual*

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Valor Presente o Beneficio presente (Ingresos netos de caja)}}{\text{Valor Presente o Costo presente (Inversiones y reinversiones, Costos)}}$$

Criterios de análisis:

- ✓ Si  $B/C > 1$ , el proyecto es aceptable
- ✓ Si  $B/C = 1$ , los beneficios son iguales a los costos, es un punto de indiferencia.
- ✓ Si  $B/C < 1$ , el proyecto se descarta

b) B/C Incremental para dos (2) proyectos:

En este caso no se puede decir, necesariamente, que es mejor el proyecto de mayor B/C. Debemos evaluar el valor incremental:

*Ecuación 5-21. Calculo B/C para dos proyectos*

$$\frac{\Delta B}{\Delta C_{(Alternativa\ 2-1)}} = \frac{B2 - B1}{C2 - C1}$$

Dónde: B1: Beneficio alternativa 1, B2: Beneficio alternativa 2, C1: Costo alternativa 1 y C2: Costo alternativa 2.

- ✓ Si  $(\Delta B / \Delta C) > 1$ , implica que es mejor el proyecto 2.

- **Sensibilidad de los indicadores y viabilidades financieras**

Con el fin de evaluar el comportamiento de los indicadores financieros de la VPN, la TIR y TIRM, ante el cambio de alguna de las variables, se desarrolló un análisis de sensibilidad. La variable seleccionada fue el Precio de Venta inicial de la MCC, porque se buscaba mantener la equidad comparativa entre las situaciones de los procesos MCC-Ac y MCC-IL; adicionalmente, esta variable mostró volatilidad en sus valores anuales para el mercado colombiano (numeral 6.1.2).

El análisis de sensibilidad se realizó inicialmente determinando los valores de precio de venta límites, para los cuales el VPN, la TIR y la TIRM eran aceptados (numeral 5.4.8), lo anterior utilizando la herramienta de la pestaña *Datos* de Microsoft Excel® llamada *Análisis de Hipótesis*, con la función *Buscar Objetivo*.

Posteriormente, se determinaron los valores del VPN, la TIR y La TIRM para diferentes precios de venta de la MCC, utilizando la herramienta de la pestaña *Datos* de Microsoft Excel® llamada *Análisis de Hipótesis*, con la función *Tabla de datos*. Se contempló en las variaciones del precio de venta de la MCC que el 100% equivalía a \$638.581,94 COP/kg (\$172,9 USD/kg) y que corresponde a la referencia determinada en el estudio de mercado. En ese sentido, el precio de



venta de la MCC utilizado para el análisis de la evaluación financiera del presente trabajo corresponde al 50% de dicho valor de referencia (\$391.291 COP).

## **5.5 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)**

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos específicos formulados para la presente investigación, se desarrolló un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), conforme a los planteamientos descritos en la norma ISO 14040 sobre ACV; contemplando las cuatro (4) fases: *i) Definición del objetivo y alcance, ii) Análisis de Inventario, iii) Evaluación de Impactos, iv) Interpretación*

### **5.5.1 FASE 1: Definición de los objetivos y el alcance**

En esta fase se definió el sistema a estudiar, su función y los límites del mismo, hasta dónde se pudo evaluar el sistema y cuál es la razón por la que se ha decidido realizar el estudio.

De acuerdo al apartado 4.2.2 de la Norma ISO 14044, al momento de definir el objetivo del estudio de ACV, se establecieron con claridad los siguientes puntos:

- I. La aplicación prevista. Es decir, ¿qué haremos con los resultados del ACV?
- II. Las razones para realizar el estudio. Es decir, ¿por qué se hizo el ACV?
- III. El público objetivo. Es decir, ¿a quiénes podría interesarle los resultados del ACV?
- IV. Se pretende utilizar los resultados del estudio en aseveraciones comparativas previstas para ser difundidas al público. Es decir, ¿se usarán los resultados del ACV para hacer una declaración ambiental pública que compare si un producto es mejor o peor que su competencia?

Se definió la unidad funcional a la cual estarán ligadas las entradas y salidas del sistema de producto, la unidad funcional también fue establecida para el proceso de simulación adelantado con el software ASPEN PLUS®

Durante esta fase se describió la función del sistema de producto; en este caso correspondiente a dos procesos industriales para obtener MCC que tendría un uso como excipiente de acuerdo a lo analizado en el estudio de mercado.

Posteriormente se realizaron los esquemas de los sistemas de producto, teniendo en cuenta los procesos de producción simulados en el ASPEN PLUS® y de esta manera se identificaron los límites del sistema, como se indica a continuación:

- Entradas y salidas en la secuencia principal de fabricación/procesamiento.
- Recuperación de productos utilizados (reutilización). Cabe aclarar, que esta situación se simuló en el ASPEN PLUS®.

Se aclara que en los resultados (numeral 6.4) las exclusiones de las etapas del ciclo de vida, procesos, entradas o salidas, se realizaron teniendo en cuenta que no se modifica significativamente las conclusiones globales del estudio.

### **5.5.2 FASE 2: Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)**

En esta fase del ACV se recopilaron los datos correspondientes a las entradas y salidas (materias primas, insumos, desechos, residuos subproductos) de los sistemas bajo estudio. Este proceso fue iterativo y a medida que se realizó, se pudo identificar nuevos requisitos o limitaciones que iban modificando la forma como se obtienen los datos (Vidal, 2014).

Las cantidades de entradas y salidas se obtuvieron de las simulaciones realizadas en el ASPEN PLUS®; usando la función “Utilities”, en donde todos los cálculos se hicieron para la unidad funcional definida.

### 5.5.3 FASE 3: Evaluación del impacto ambiental (EICV)

En esta etapa se asocian los resultados del análisis de inventario con las categorías de impacto ambiental seleccionadas y con sus respectivos indicadores, con el fin de determinar los impactos ambientales. De esta fase se obtiene la información necesaria para la fase de interpretación del ciclo de vida. La evaluación de impactos también es iterativa y puede generar una revisión del objetivo y del alcance del estudio de ACV (Vidal, 2014). Es de gran utilidad conocer cuáles son los elementos que conforman la evaluación del impacto, con el fin de:

- Selección de categorías de impacto e indicadores de categoría.
- Asignación de resultados del análisis de inventario (clasificación).
- Cálculo de resultados del indicador de categoría (caracterización).
- Resultados del indicador de categoría, resultados de la evaluación de impacto.

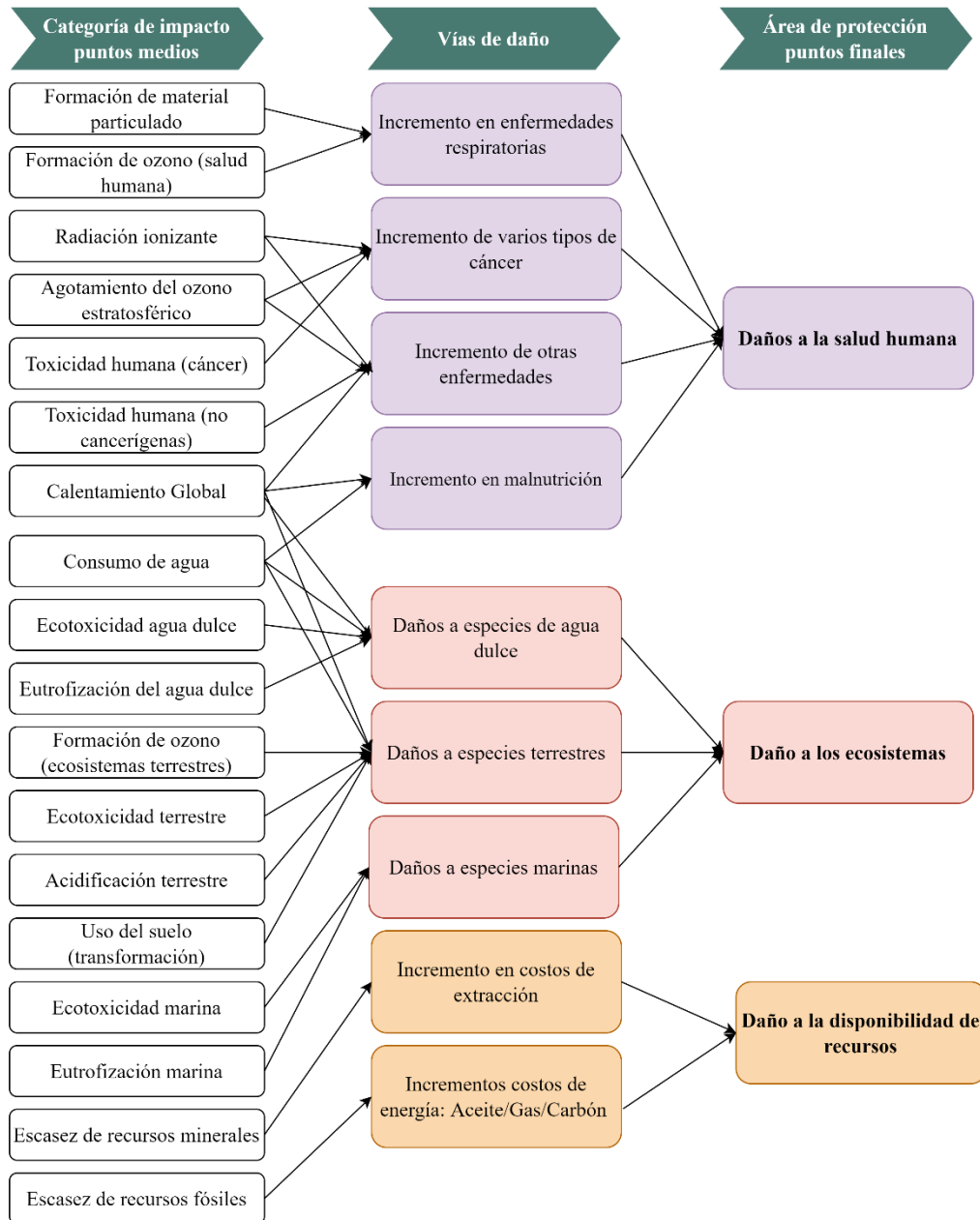
La EICV se realizó utilizando el software SimaPro® 9.2.0.2 con la licencia faculty UdeA.

Se señala que la metodología escogida en la evaluación de impactos es ReCiPe 2016 (E), en la cual se traducen las emisiones y las extracciones de recursos naturales en un número limitado de puntajes de impacto ambiental por medio de los llamados factores de caracterización, en donde existen 18 indicadores de punto medio (“midpoints”) y 3 indicadores de punto final (“endpoints”).

Los indicadores de punto medio se centran en problemas ambientales únicos, por ejemplo, cambio climático o acidificación. Los indicadores de punto final muestran el impacto ambiental en tres niveles de agregación más altos, siendo el 1) efecto o daño sobre la salud humana, 2) la biodiversidad y 3) la escasez de recursos. La conversión de puntos medios a puntos finales simplifica la interpretación de los resultados (Huijbregts et al., 2017).

En la Figura 5-18, se muestran listados los puntos medios y puntos finales del ACV según la metodología ReCiPe de 2016. En la presente investigación, se tomaron los resultados de punto medio para el análisis de sostenibilidad (ver numerales 5.6, 6.4 y 6.5), con el fin de identificar las problemáticas ambientales de cada proceso analizado.

Figura 5-18. Categorías de impacto que están cubiertas en la metodología ReCiPe2016



Fuente. Adaptado de Huijbregts et al. (2017).

#### 5.5.4 FASE 4: Interpretación

Los resultados del ICV y la Evaluación de Impactos se interpretan en función del objetivo y alcance establecidos. Luego de realizar el análisis de los resultados, considerando su integridad, y coherencia, se plasman las conclusiones.

Al igual que en las etapas anteriores, esta fase también se realiza mediante un proceso iterativo de revisión y actualización del alcance del ACV y también de la calidad de los datos recopilados.

## 5.6 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD

En este trabajo se investigan dos alternativas: proceso acetosolv (MCC-Ac) y proceso con EMIM[AoC] (MCC-IL) para la obtención de MCC; para realizar el análisis de sostenibilidad integrada de procesos químicos se tomó como base el estudio desarrollado por Jia et al. (2016), en donde inicialmente se formuló el objetivo del análisis multicriterio correspondiente a determinar entre las alternativas mencionadas cuál es más sostenible.

Posteriormente, se formularon tres (3) criterios de selección correspondientes a la *dimensión ambiental*, *dimensión de salud humana y seguridad*, y *la dimensión económica*. Así mismo, cada uno de estos criterios tuvo diferentes subcriterios como se puede apreciar en la Tabla 5-18 y Figura 5-19. Cada uno de estos subcriterios corresponde a los indicadores o variables resultado de los estudios económico y de ACV. Esta estructura jerárquica permitió establecer cuál de los dos (2) procesos de síntesis de MCC es más sostenible manteniendo el equilibrio entre los criterios formulados.

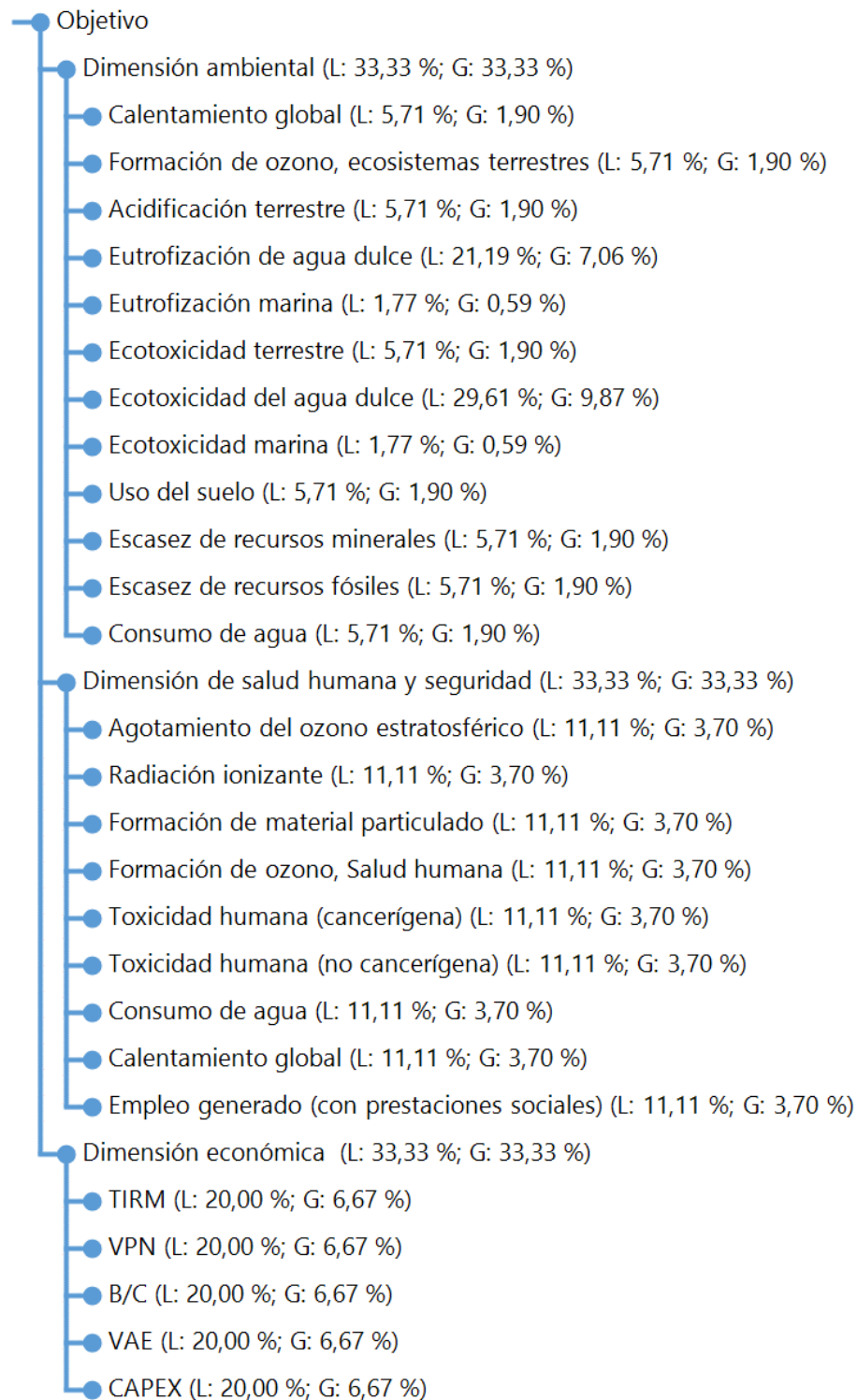
**Tabla 5-18. Criterios del modelo jerárquico**

<b>Criterio</b>	<b>Subcriterios</b>	<b>Descripción</b>
Dimensión ambiental	Calentamiento global	Corresponde a los resultados obtenidos del ACV. Entre las dos alternativas (MCC-Ac y MCC-IL) el de menor valor para estos subcriterios será la mejor opción.
	Formación de ozono, ecosistemas terrestres	
	Acidificación terrestre	
	Eutrofización de agua dulce	
	Eutrofización marina	
	Ecotoxicidad terrestre	
	Ecotoxicidad del agua dulce	
	Ecotoxicidad marina	
	Uso del suelo	
	Escasez de recursos minerales	
	Escasez de recursos fósiles	
Dimensión de salud humana y seguridad	Consumo de agua	Corresponde a los resultados obtenidos del ACV. Entre las dos alternativas (MCC-Ac y MCC-IL) el de menor valor para estos subcriterios será la mejor opción.
	Agotamiento del ozono estratosférico	
	Radiación ionizante	
	Formación de ozono, Salud humana	
	Formación de material particulado	
	Toxicidad humana (cancerígena)	
	Toxicidad humana (no cancerígena)	
	Consumo de agua	
Calentamiento global		

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Criterio	Subcriterios	Descripción
	Empleo generado (con prestaciones sociales)	Entre las dos alternativas de proyecto (MCC-Ac y MCC-IL) el que mayor cantidad de empleos genere será la mejor opción.  Nota: Como en el estudio económico se determinó que ambos procesos requieren el mismo número de trabajadores, estos subcriterios se evaluó por pares otorgando el mismo peso para ambos.
Dimensión económica	TIRM VPN B/C VAE	Corresponde a los resultados obtenidos en la evaluación financiera (numeral 6.3.7.1)
	CAPEX (Inversión en activos fijos)	Corresponde al cálculo de la inversión en activos fijos del flujo de caja del proyecto para los procesos MCC-Ac y MCC-IL. El que menor valor tenga está mejor evaluado

**Figura 5-19. Modelo AHP para el análisis de la sostenibilidad integrada de las alternativas de los procesos MCC-Ac y MCC-IL**



L: Se refiere al peso o importancia local asignado de cada criterio (criterio nivel 1 y2) y G: Se refiere al peso o importancia global asignado de cada criterio.

Una vez formulado el modelo jerárquico para el análisis de la sostenibilidad integrada, se realizó la ponderación de los criterios (Dimensión ambiental, económica, y salud humana y seguridad), para definir los pesos o importancias de cada uno por medio de comparaciones en pares utilizando la escala de Saaty (Tabla 5-14). La ponderación de los criterios se hizo de manera equilibrada, otorgando la misma importancia a las dimensiones de la sostenibilidad y generando un ratio de inconsistencia de 0,00%, lo que significa que existe una evidencia positiva de juicio informado en la calificación ponderada de los criterios como se observa en la Figura 5-20, tal cual como se explicó en el numeral 5.3.2.2.

*Figura 5-20. Matriz de ponderación de criterios*

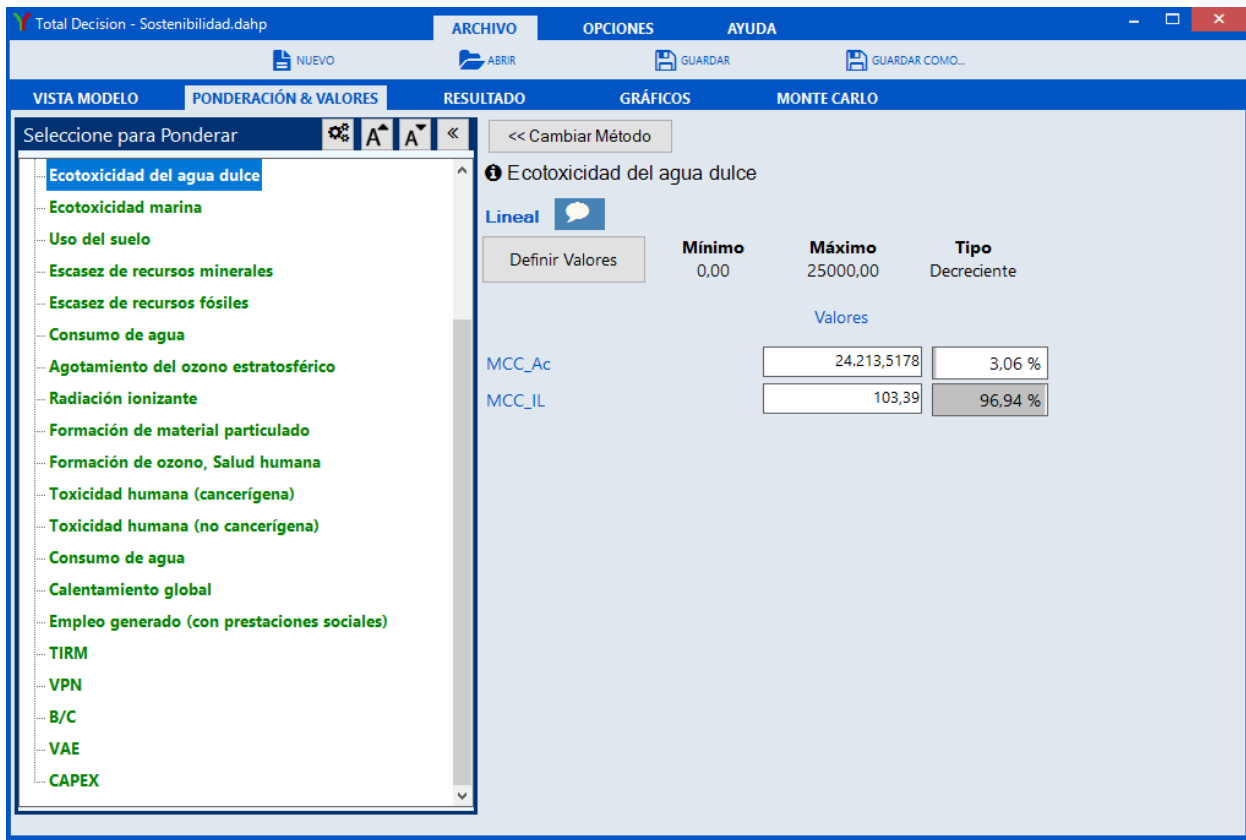
	Dimensión Ambiental	Dimensión salud humana y seguridad	Dimensión económica
Dimensión Ambiental	1	1	1
Dimensión salud humana y seguridad	1	1	1
Dimensión económica	1	1	1

Ratio de inconsistencia: 0,00%

En el caso de los subcriterios, se ponderaron igualmente de forma equilibrada (escala de Saaty: Tabla 5-14), resaltando que para la dimensión ambiental, se otorgó menor peso a los impactos potenciales ocasionados a los ecosistemas marinos; lo anterior con el fin de guardar coherencia con los resultados obtenidos del estudio de localización (numeral 6.2.2.2), en donde el municipio de Rionegro se encuentra en una región alejada de costas marinas (ver Anexo 4).

Luego se procedió a realizar la valoración de las alternativas ingresando los resultados obtenidos del estudio económico y del ACV. En la Figura 5-21 se muestra, a modo de ejemplo, la valoración de las alternativas para el subcriterio de “Toxicidad de agua dulce”, en donde se puede apreciar la diferencia de impacto generados entre el proceso MCC-Ac y MCC-IL. El tipo de valoración en este caso corresponde a “Decreciente”, dado que entre menor sea la concentración del indicador del aumento ponderado por peligrosidad en agua dulce (kg 1,4-DCB), será mejor la alternativa valorada.

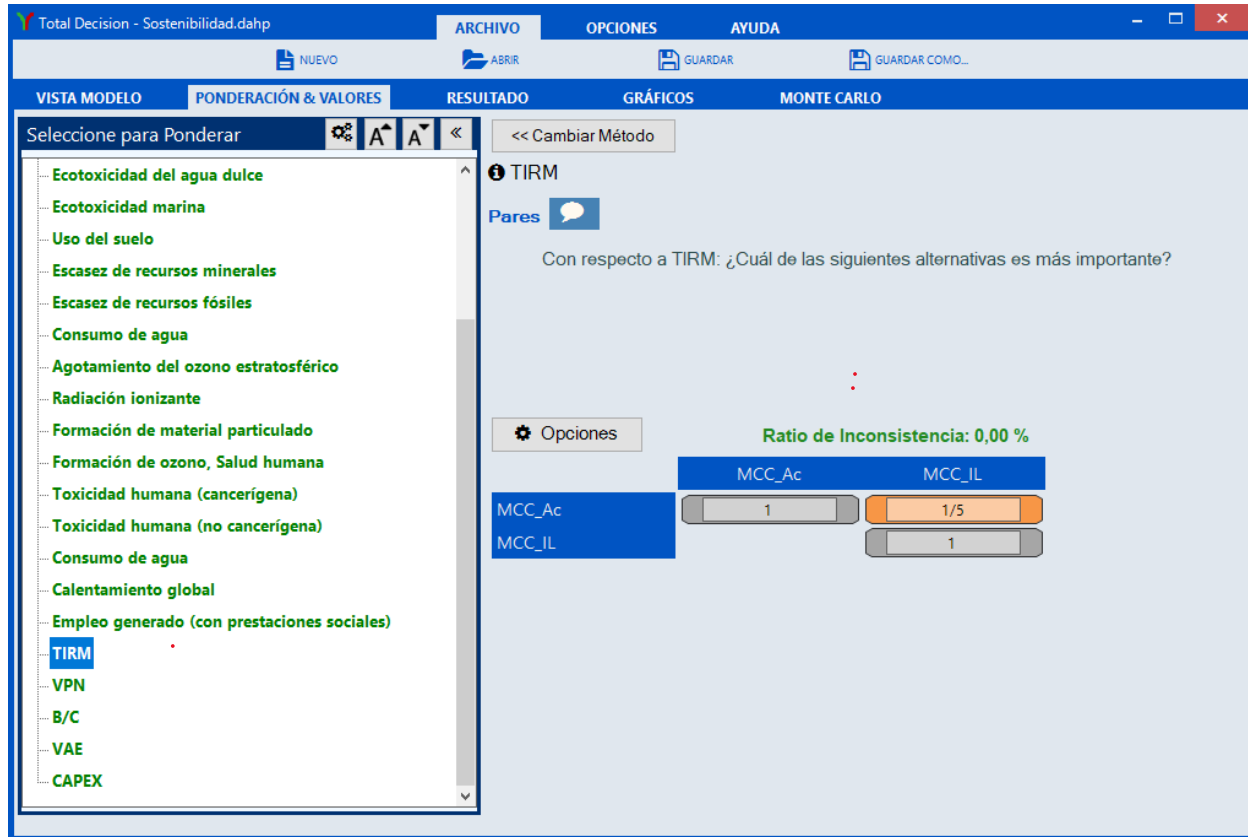
Figura 5-21. Entorno del software Total Decision® para la valoración de alternativas por subcriterio



Existieron subcriterios que no fueron valorados ingresando directamente los resultados y evaluándolos por el método lineal, debido a que presentaban resultados iguales o eran resultados cualitativos, como es el caso de la cantidad de empleo generado con prestaciones sociales, que en ambos procesos corresponde a sesenta y seis (66) empleados (Figura 5-22).



**Figura 5-22. Entorno del software Total Decision® para la valoración de alternativas con igual resultado**



Luego de completar las evaluaciones de todos los criterios y subcriterios, se utilizaron las funciones de “RESULTADO” y “GRÁFICOS”, del software Total Decision®; y se determinó cuál de las alternativas formuladas correspondía a la mejor opción (Figura 5-23).

Finalmente, se estableció una escala de sostenibilidad en colores entre las alternativas analizadas (MCC-Ac y MCC--IL), basada en los resultados porcentuales obtenidos en el software Total Decision®, como se observa en la Tabla 5-19.

**Tabla 5-19. Rango de escala de sostenibilidad**

Escala de sostenibilidad	Valor (%)
No Sostenible	0-20
Poco Sostenible	21-40
Medianamente Sostenible	41-60
Sostenible	61-80
Muy Sostenible	81-100

Figura 5-23. Entorno visual del software Total Decision®, resultados del modelo multicriterio

**Modo Distributivo**  **Modo Ideal**

Alternativa	Objetivo (%)
MCC_IL	83,52 %
MCC_Ac	16,48 %

Resumen de Inconsistencias	IR (%)
Modelo Global	1,42 %
Objetivo - Evaluar Sostenibilid...	0,00 %
Dimensión ambiental	5,24 %
Calentamiento global	0,00 %
Formación de ozono, ecosiste...	0,00 %
Acidificación terrestre	0,00 %
Eutrofización de agua dulce	0,00 %
Eutrofización marina	0,00 %
Ecotoxicidad terrestre	0,00 %
Ecotoxicidad del agua dulce	0,00 %

**Detalle del peso de las Alternativas por Criterios**

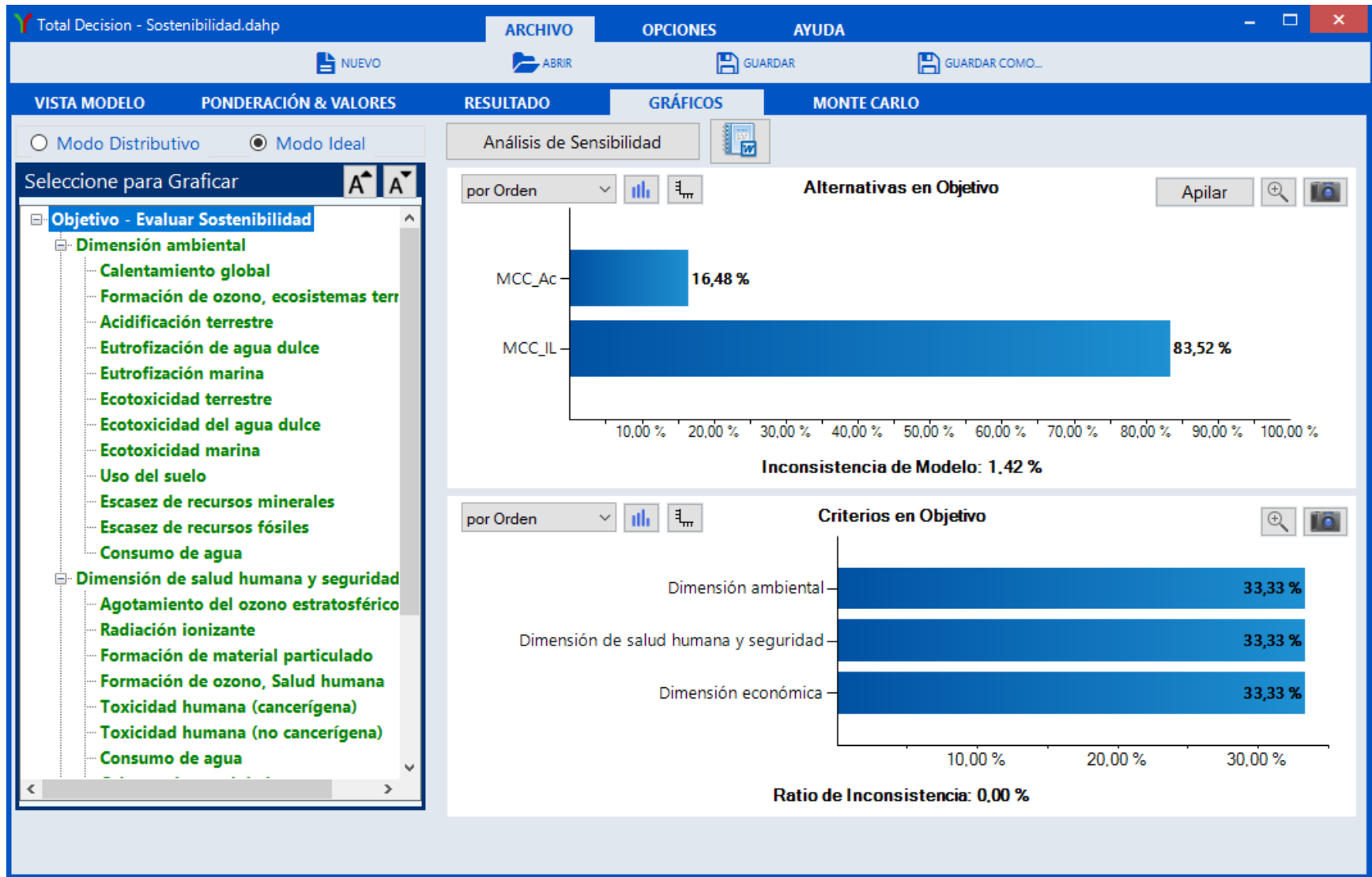
	Dimensión ambiental	Calentamiento global	Formación de ozono, ecosistemas	Acidificación terrestre	Eutrofización de agua dulce	Eutrofización marina
MCC_Ac	5,84 %	14,88 %	2,79 %	8,31 %	8,58 %	5,38 %
MCC_IL	94,16 %	85,12 %	97,21 %	91,69 %	91,42 %	94,62 %

**Detalle de los pesos locales y globales de los criterios**

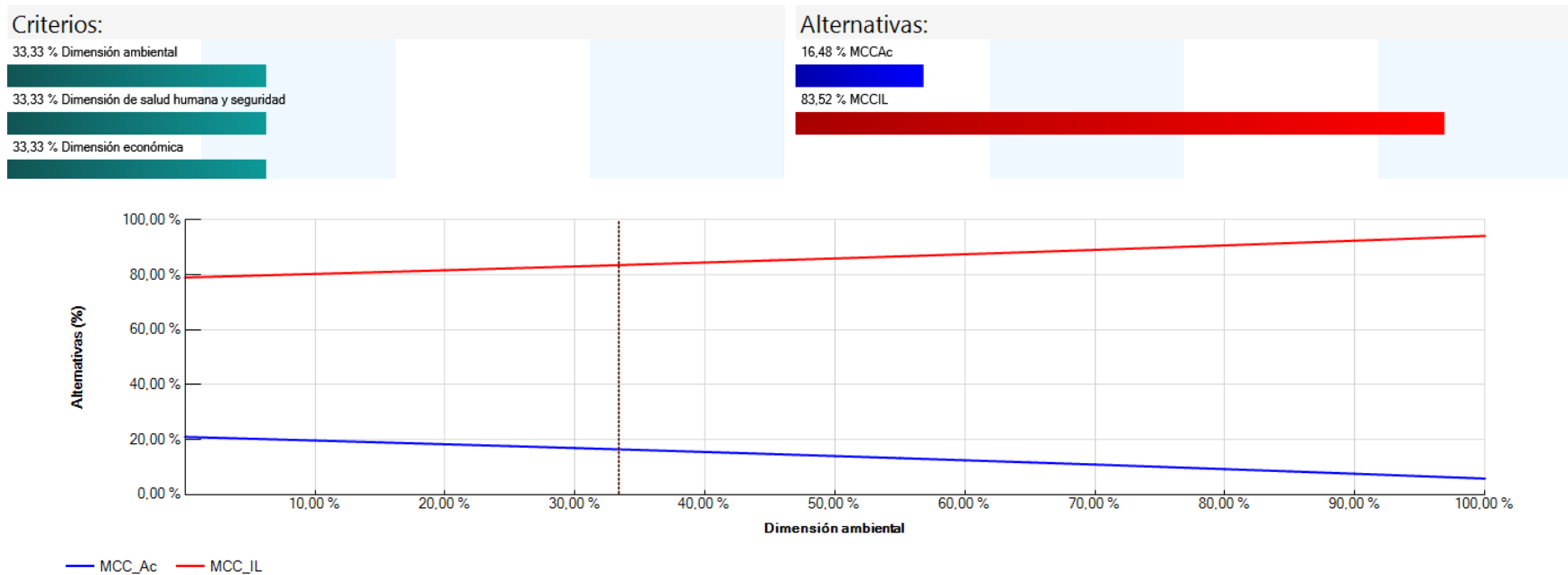
	Dimensión	Calentamiento	Formación de	Acidificación	Eutrofización	Eutrofización
Peso Local	33,33 %	5,71 %	5,71 %	5,71 %	21,19 %	1,77 %
Peso Global	33,33 %	1,90 %	1,90 %	1,90 %	7,06 %	0,59 %

Figura 5-24. Entorno visual del software Total Decision®, gráficos del modelo multicriterio



Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad a los resultados del objetivo planteado en el análisis de sostenibilidad integrada empleando la función “Análisis de Sostenibilidad” del Software Total Decisión® (Figura 5-25).

Figura 5-25. Entorno del software Total Decisión análisis de sensibilidad



Por último, se señala que el marco de análisis de sostenibilidad expuesto anteriormente tiene un carácter iterativo, lo cual significa que, en etapas futuras, como la factibilidad de proyectos, se pueden determinar nuevos indicadores o nuevos resultados que permitirá actualizar el modelo AHP.

## 6 RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1 ESTUDIO DE MERCADO

El estudio de mercado que se presenta a continuación contiene un análisis de los cálculos y proyecciones de los registros del mercado internacional y colombiano de la celulosa microcristalina o “MCC”. Cabe señalar que la MCC pertenece a la variedad de las celulosas especiales y que, a su vez, existen diferentes tipos de calidades y presentaciones comerciales que la hacen una materia prima versátil

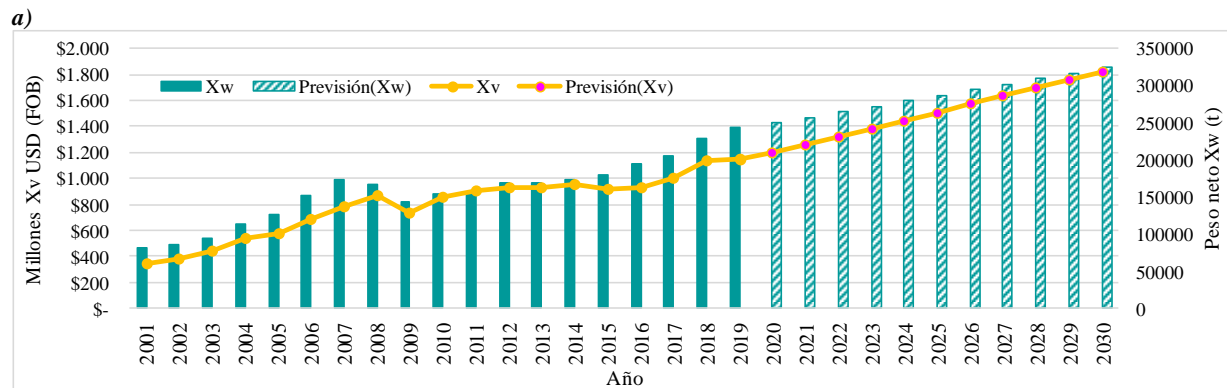
#### 6.1.1 Análisis de comercio internacional de celulosa microcristalina

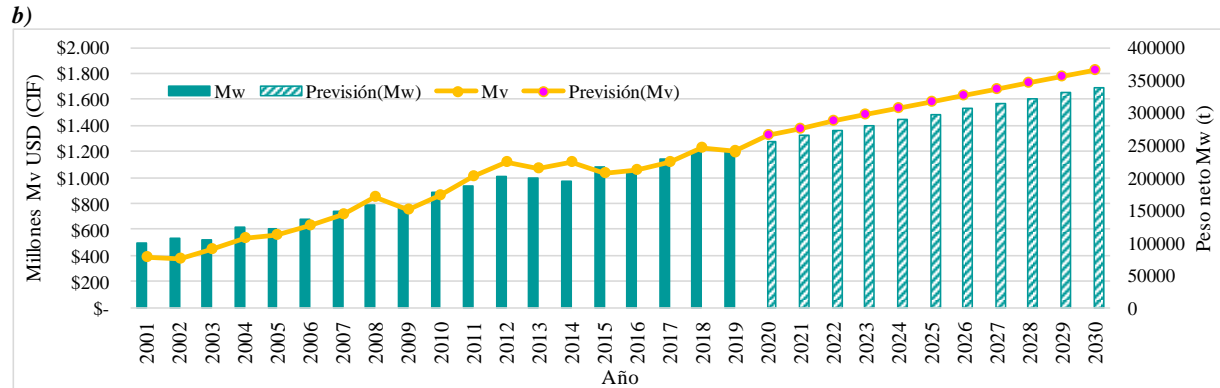
El contexto de comercio exterior, tanto las exportaciones como las importaciones de MCC, presenta un comportamiento general creciente para el periodo de análisis de 19 años, comprendidos desde el 2001 al 2019, como se puede ver en la Figura 6-1.

En el año 2019 se exportaron 242.707 t MCC, las cuales representaron \$1.154,09 millones USD FOB. Y en términos generales, se ha dado un crecimiento promedio de 7,42 % millones de USD y de 6,54 % de toneladas en los años de estudio. Se proyecta un crecimiento promedio en las exportaciones mundiales de MCC del 4,23 % millones de USD y de 2,7 % toneladas a nivel mundial, entre el 2020 y 2030.

Para el caso de la demanda de importaciones mundiales, en el año 2019 el mercado transó 241.086 t MCC que representan \$1.202,64 millones USD CIF. Las importaciones han tenido un crecimiento promedio de 6,88 % millones de USD y de 5,31 % toneladas a nivel mundial, entre los años 2001 y 2019. Se proyecta un crecimiento promedio en las importaciones mundiales de MCC del 3,9 % millones de USD y de 3,1 % toneladas a nivel mundial, entre el 2020 y 2030.

*Figura 6-1. Exportaciones e Importaciones mundiales de MCC*

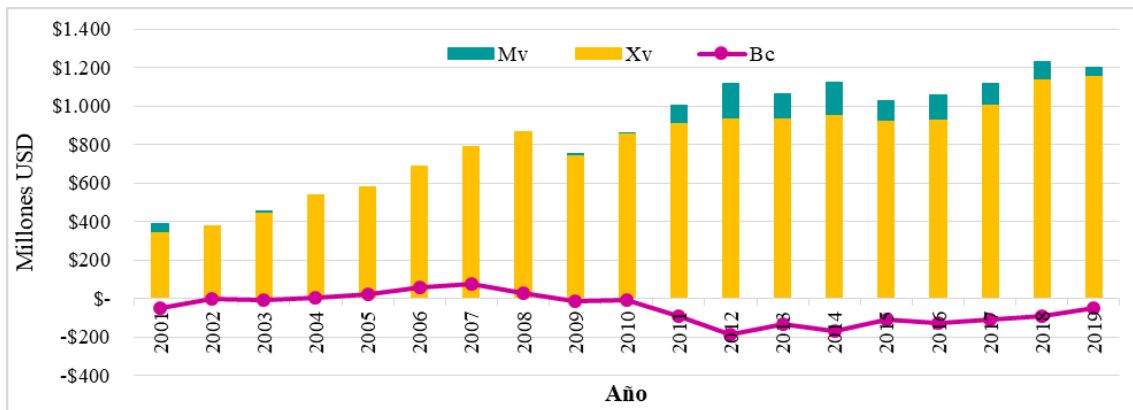




a) X (Exportaciones), Xv: Exportaciones en dólares (USD) FOB. Xw: Exportaciones en toneladas (t). b) M (Importaciones); Mv: Importaciones en dólares (USD) CIF. Mw: Importaciones en toneladas (t).

En la balanza comercial desde el año 2001 hasta el 2019, muestra un predominio en las importaciones mundiales. Esto genera una diferencia negativa entre las exportaciones e importaciones, lo que implica que esta materia prima se produce en un país diferente al que se consume principalmente (Figura 6-2).

**Figura 6-2. Balanza comercial mercado internacional MCC**



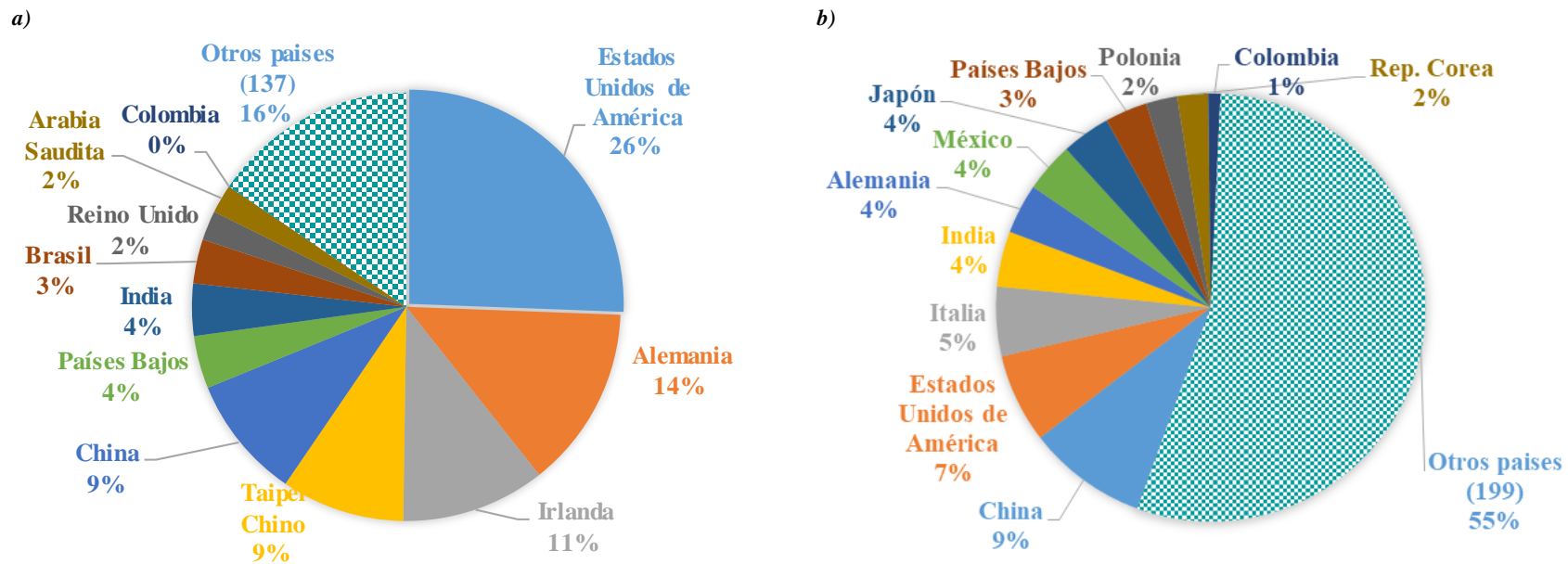
Xv: Exportaciones en dólares (USD) FOB. Mv: Importaciones en dólares (USD) CIF. Bc: Balanza comercial

En el mercado internacional, desde el año 2001 al 2019, Estados Unidos ha sido el principal exportador MCC con un 26 %, seguido de Alemania con el 14 % e Irlanda con el 11 %, entre un total de 148 países con exportaciones de esta materia prima (Figura 6-3, literal “a”).

Para el caso de las importaciones de MCC, el mercado internacional presenta una mayor división, siendo China con el 9 % el principal importador, seguido de Estados Unidos con el 7 % e Italia con 5 %. Colombia representa el 1% de las importaciones mundiales para un total de 210 países con registros (Figura 6-3, literal “b”).

Se aclara que existen diferentes tipos, calidades y presentaciones comerciales de la MCC; por lo tanto, existen países que son exportadores e importadores de esta materia prima, dado que mientras producen o comercializan al exterior un tipo de MCC, pueden estar consumiendo o demandando otro tipo o calidad diferente de esta sustancia al interior de su territorio.

**Figura 6-3. Países exportadores e importadores de MCC 2001-2019**



a) Exportadores de MCC entre 2001-2019. b) Importadores de MCC entre 2001-2019

Fuente: Cálculos propios, con datos del ITC en 2020

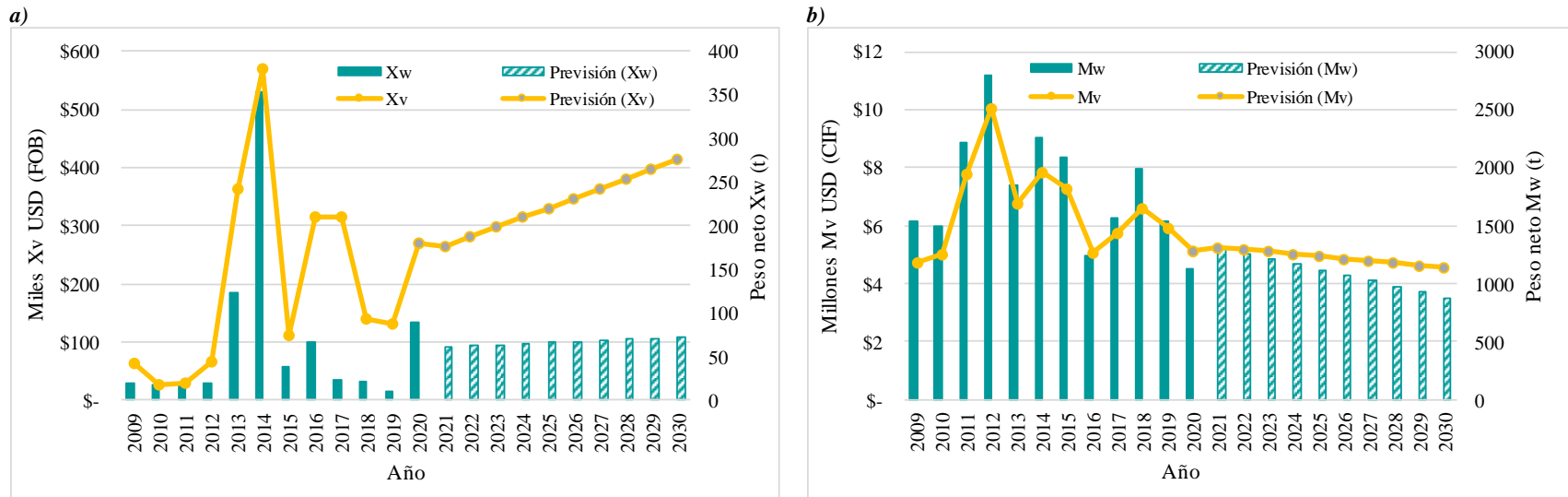
### **6.1.2 Flujos comerciales de MCC en Colombia**

Las exportaciones de MCC para Colombia han presentado fluctuaciones anuales desde 17,24 t hasta 353,48 t y valores de 24.580 USD FOB a 568.047 USD FOB; representan una tasa de crecimiento promedio de los valores comerciales de 68 % para el periodo anual comprendido entre 2009 a 2020. Con respecto a las proyecciones del mercado se prevé un crecimiento promedio del 1,80 % del 5 % de las toneladas y valores económicos exportados por Colombia (Figura 6-4 literal “a”).

Con relación a las importaciones de MCC en Colombia, se ha presentado un escenario con una tasa promedio descendente del 1 % en las cantidades que han ingresado al país desde el año 2009 hasta el 2020, presentando variaciones anuales entre 1.132,62 t y 2.794,00 t. Para las transacciones monetarias, se presentaron rangos entre \$24.580 USD CIF a \$568.047 USD FOB, que representan una tasa de crecimiento promedio del 4 % para el mismo periodo anual. Sin embargo, las proyecciones del mercado de importaciones de MCC para Colombia, prevén un decrecimiento promedio del 2,00 % y del 1,00 %, tanto para las cantidades como para los costos monetarios respectivamente (Figura 6-4, literal “b”).



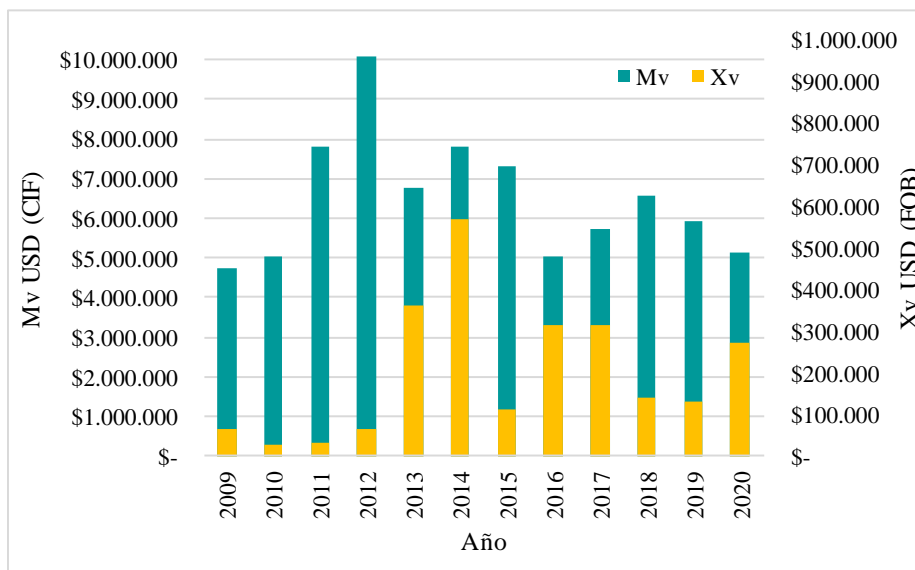
**Figura 6-4. Exportaciones e importaciones colombianas de MCC 2009-2030**



a) Exportaciones Colombianas de MCC; Xv: Exportaciones en dólares (USD) FOB y Xw: Exportaciones en toneladas (t). b) Importaciones Colombianas de MCC; Mv: Importaciones en dólares (USD) CIF y Mw: Importaciones en toneladas (t).

La balanza comercial de MCC en Colombia, presenta un saldo desfavorable, lo que indica el predominio de las importaciones frente a las exportaciones (Figura 6-5).

**Figura 6-5. Balanza comercial MCC en Colombia**



Es así que el mercado colombiano de MCC, bajo la partida arancelaria 391290, satisface la demanda de importaciones encabezada por distribuidores de la industria química, farmacéutica y alimenticia.

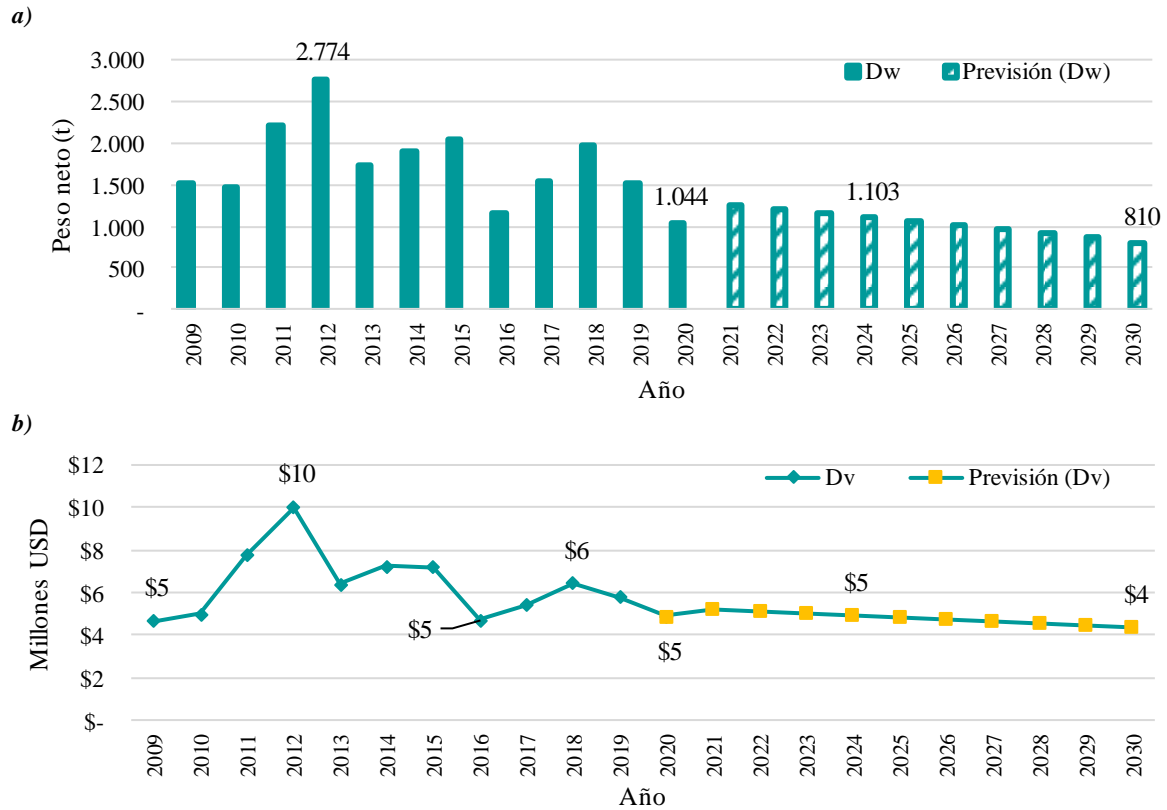
Cabe resaltar que las exportaciones colombianas de MCC, se realizan entre filiales de una misma razón social con domicilio en otro país o con empresas maquiladoras y distribuidoras que cuentan con alianzas comerciales, por lo cual se concluye que no existe una producción de esta materia prima en Colombia y, por ende, no hay una oferta real en el mercado nacional o internacional sino una exportación de insumos que antes fueron importados (reexportación).

De esta manera, como se muestra en los datos promedio históricos y proyectados de la Figura 6-6, la demanda o consumo aparente de MCC será decreciente en el mercado colombiano. Teniendo para el año 2021 un consumo estimado anual de 1.246,53 t que representa \$5,01 millones USD; proyectando un descenso del 2 % tanto en las cantidades como en valor monetario para los años 2021 a 2030.

Esta demanda descendiente puede obedecer a que en el mercado nacional se van a reducir las importaciones de esta materia prima (MCC), a razón de que internamente se pueda estar fabricando o que se esté sustituyendo por otro tipo de insumo que se consiga localmente.

A partir de los resultados descritos con anterioridad, aún no se puede descartar la MCC como un producto con potencial de producción o comercialización, porque todavía no se especifica el uso que se le daría, el cual se explica en el numeral 6.1.3 Segmentación del mercado de la MCC.

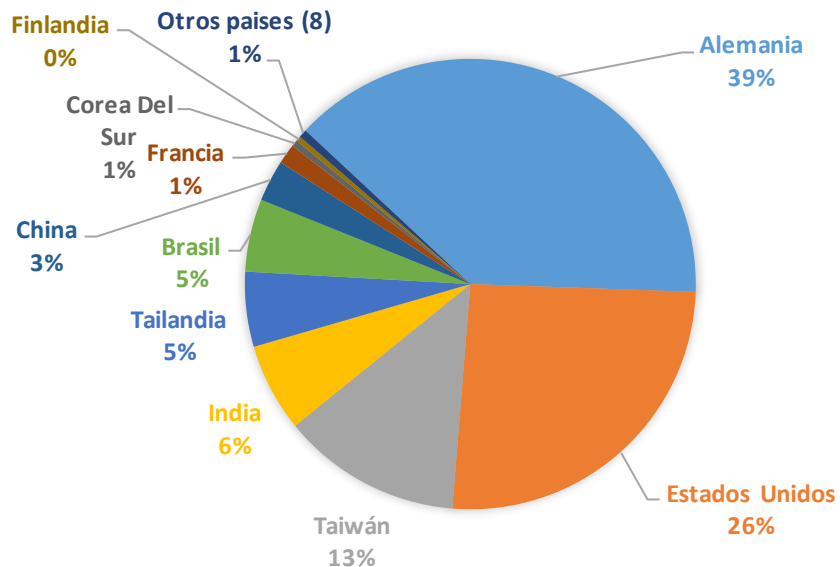
**Figura 6-6. Demanda o consumo aparente de MCC en Colombia**



**6.1.2.1 Canales de comercialización internacional de la MCC**

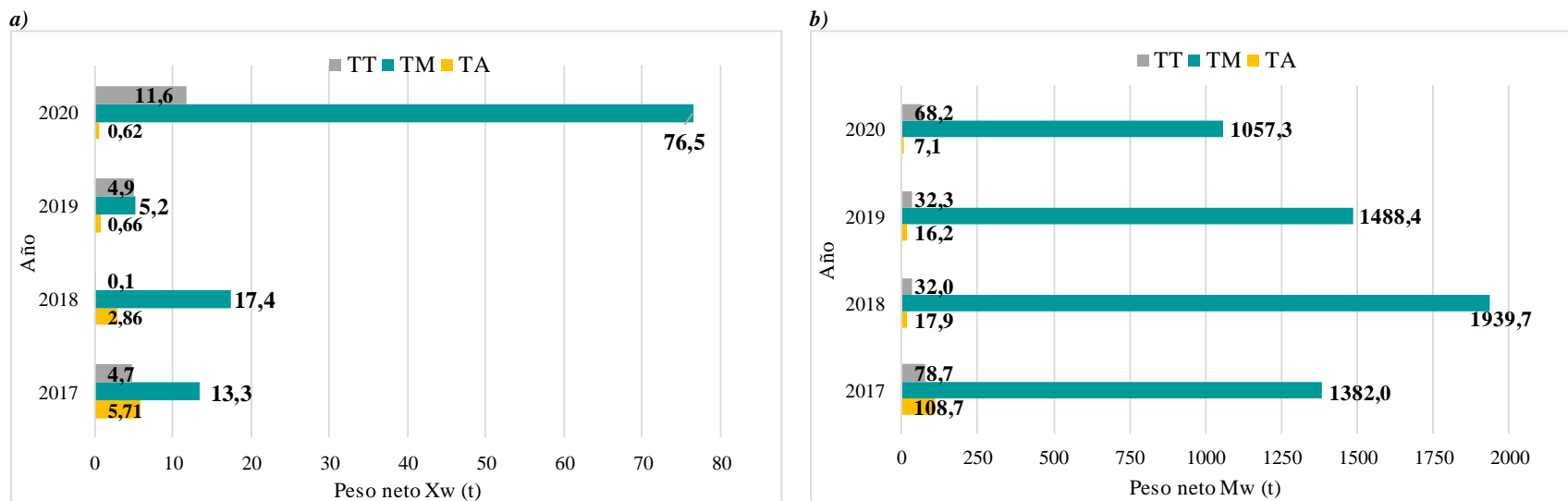
Alemania es el principal proveedor del MCC para Colombia con el 39 % del mercado de las importaciones, seguido por Estados Unidos con el 26%, China Teipéi (Taiwán) e India con el 13 % y el 6 % respectivamente, como se puede ver en la Figura 6-7.

**Figura 6-7. Proveedores de MCC en Colombia**



El principal medio de transporte, tanto para las exportaciones como importaciones de MCC en Colombia es el Marítimo (TM), por encima del Transporte terrestre (TT) y del transporte aéreo (TA), para los periodos comprendidos entre los años 2017 y 2020, como se observa en la Figura 6-8.

**Figura 6-8. Medios de comercialización de MCC en Colombia**



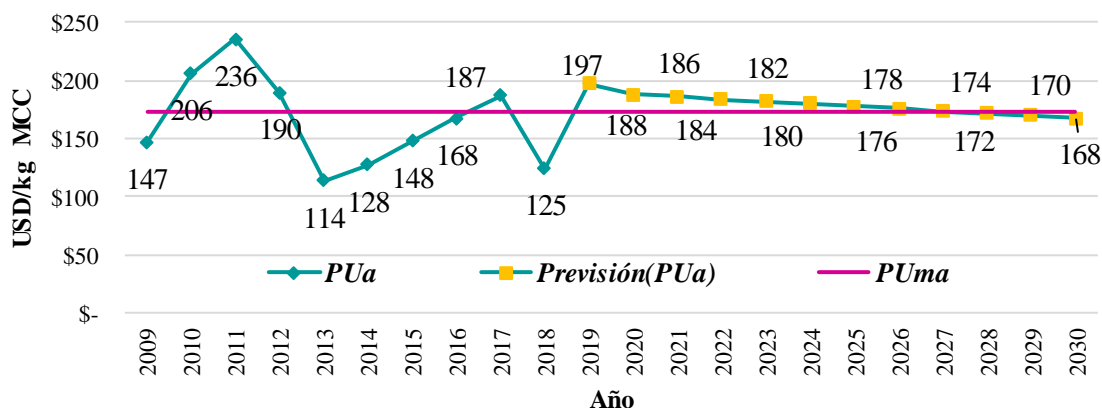
a) Exportaciones de MCC. b) Importaciones de MCC. TT: Transporte Terrestre. TM: Transporte Marítimo. TA: Transporte Aéreo.

### 6.1.2.2 Precio de la MCC

Debido que existen diferentes tipos y usos para la MCC, se generan diferentes escenarios relacionados con las características de calidad y tipos de presentación del producto. Por este motivo, se selecciona a la luz de este análisis el producto denominado “*Celulosa microcristalina 20 μm presentación en polvo, con sinónimos: celulosa, MCC 20 μm o Tipo 20 μm*”, para los proveedores MERCK KGaA y SIGMA-ALDRICH, (para efectos aclaratorios, la primera entidad adquirió la segunda desde el 18 de noviembre de 2015, y actualmente son los representantes del mercado internacional alemán y estadounidense de productos bioquímicos, orgánicos, desarrollo farmacéutico, diagnóstico y manufactura química).

En la Figura 6-9, se muestra el análisis del precio unitario anual promedio (*PUa*), la previsión del precio unitario y el precio unitario promedio multianual (*PUma*), a partir de los flujos comerciales de importaciones hechas entre Colombia y la empresa MERCK KGaA.

Figura 6-9. Análisis de Precio Unitario (PU) de la MCC



*PUa*: Precio Unitario promedio anual. *Previsión (PUa)*: proyección del Precio Unitario promedio anual. *PUma*: Precio Unitario promedio Multianual.

De esta manera el precio referente internacional para Colombia es de  $PUma = \$173$  USD/kg de MCC; calculado a partir de datos históricos hasta el 2019 y los valores proyectados hasta 2030, y contemplando la sumatoria de fletes, seguros y otros gastos que representan en promedio el 10% del precio; así pues, el precio de referencia para la MCC comercializada en Colombia corresponde a  $\$172,9$  USD/kg, aproximadamente  $\$638.581,94$  COP/kg.

### 6.1.3 Segmentación del mercado de la MCC

El flujo comercial internacional de la MCC es creciente, pero el mercado colombiano actualmente se dedica a la importación de este producto para ser comercializado internamente o reexportado. Por tal razón, es necesario identificar cuales tipos de uso son atractivos para la MCC en Colombia y que a su vez tenga proyección internacional.

En este sentido, la MCC es ampliamente utilizada en la industria farmacéutica como excipiente multifuncional, puesto que es potencializador de la compresibilidad, sirve como aglutinante en procesos de granulación húmeda y seca, también funciona como espesante y mejorador de viscosidad en formas de dosificación líquidas y agentes de flujo libre en formas de dosificación sólidas. (Javad, S & Khosro, A, 2013).

Por lo anterior, se define que el segmento del mercado para el presente estudio corresponde al de “*Excipiente*”, dentro de la industria farmacéutica.

A continuación, se mostrarán los flujos comerciales de los excipientes en el mercado farmacéutico colombiano.

### **6.1.3.1 Flujos comerciales de los excipientes en Colombia**

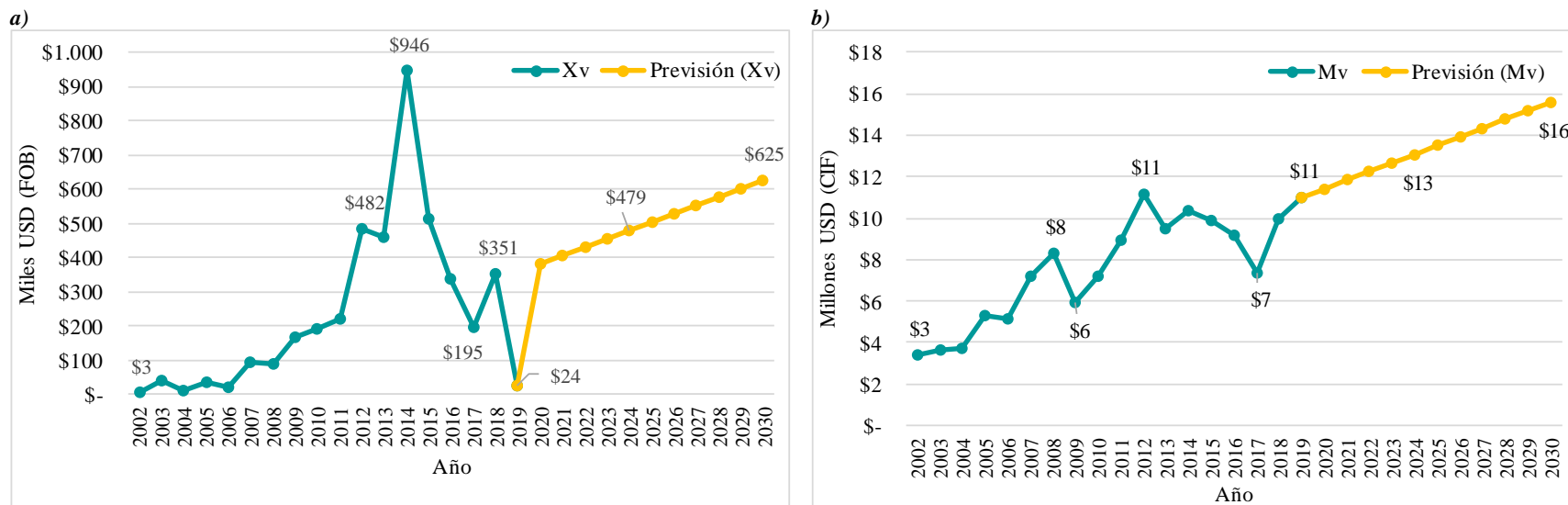
En términos generales las exportaciones como importaciones de excipientes en el mercado farmacéutico colombiano presentan un comportamiento anual creciente desde el año 2002 hasta el año 2019, incluyendo las proyecciones desde el año 2020 hasta el 2030.

Las exportaciones de excipientes han presentado históricamente fluctuaciones entre los \$2.947 USD FOB para el año 2002 y \$946.007 USD FOB para el año 2014; siendo este el de mayor ingreso registrado hasta ahora, y coincidiendo con el comportamiento analizado para la MCC en el numeral 6.1.2. Con respecto a las proyecciones del comportamiento del mercado de exportaciones de excipientes se tiene que entre los años 2020 y 2030, se presentará un crecimiento promedio del 5,1%, con rangos que van desde \$380.684 USD para el 2020 hasta los \$625.376 USD. (Figura 6-10, literal “a”)

Con respecto a las importaciones, el panorama ha sido de un crecimiento promedio anual del 9% desde el año 2002 hasta el año 2019, y se proyecta un crecimiento del 3,3% entre los años 2020 y 2030, para un crecimiento promedio multianual del 6,8%. Lo que muestra un escenario de atención de la demanda de excipientes por medio de importaciones. Es así que, para el año 2019 en Colombia se invirtieron \$10.955.502 USD CIF y se proyecta que para el 2030 se invierta en este segmento del mercado farmacéutico aproximadamente \$15.595.139 USD CIF. (Figura 6-10, literal “b”)

De igual forma las importaciones de excipientes y de MCC entre los años 2009 y 2018 presentaron un comportamiento similar como se puede evidenciar en el numeral 6.1.2.

**Figura 6-10. Exportaciones e importaciones colombianas de excipientes farmacéuticos**

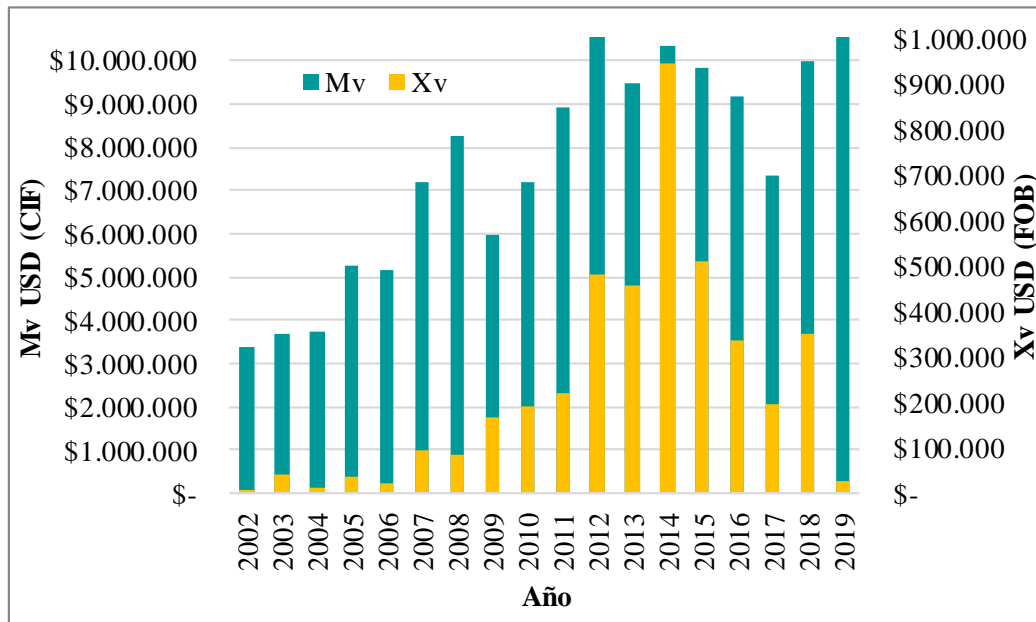


a) Exportaciones Colombianas de MCC; Xv: Exportaciones en dólares (USD) FOB. b) Importaciones Colombianas de MCC; Mv: Importaciones en dólares (USD) CIF

La balanza comercial de excipientes en Colombia, presentó un saldo desfavorable (negativo (-)), lo que indica un déficit comercial. En este caso las importaciones son mayores a las ventas al exterior que se tienen con respecto a los excipientes colombianos (Figura 6-11).

Cuando se presenta esta situación, al igual que para el caso de la MCC, el país requiere compensar este déficit por medio de financiación a partir de deuda pública o privada, para poder continuar comprando bienes y servicios, provocando un aumento en el tipo de cambio y posteriormente incrementando el precio de las divisas; siendo desfavorable para un país, porque incrementa el nivel de endeudamiento.

**Figura 6-11. Balanza comercial excipientes en Colombia**



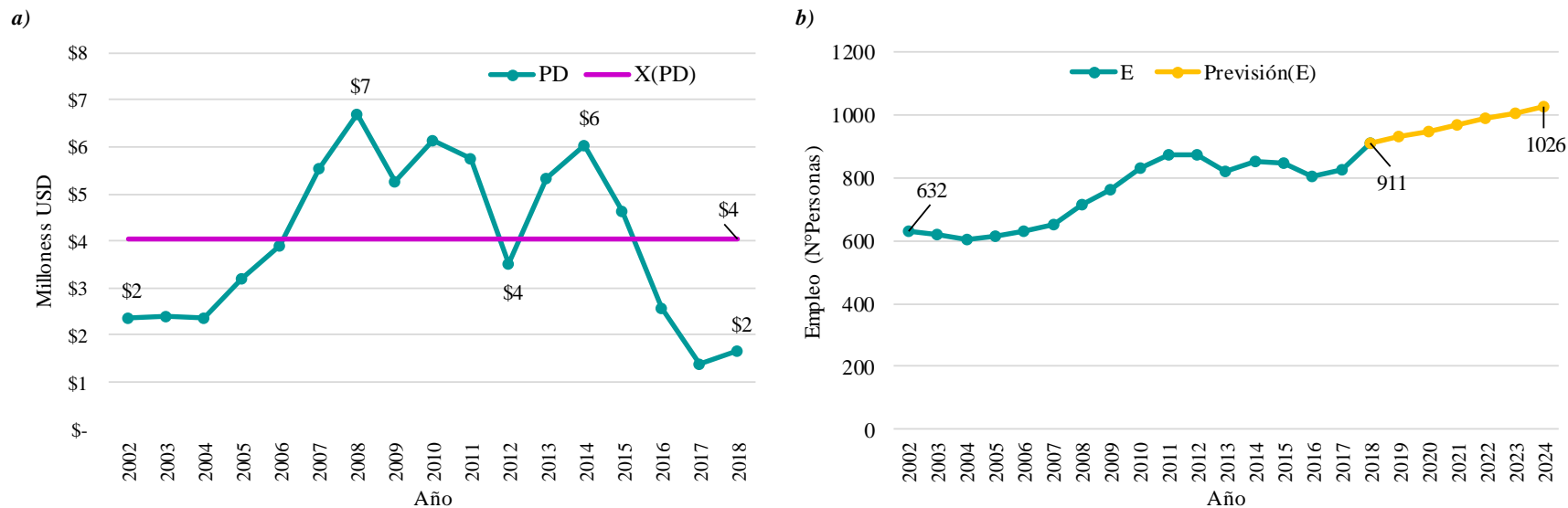
Xv: Exportaciones en dólares (USD) FOB; Mv: Importaciones en dólares (USD) CIF

La Producción (PD) colombiana de excipientes tiene un comportamiento sin una tendencia clara y sin ninguna estacionalidad; por lo tanto, una previsión a futuro no sería conveniente en el presente análisis. Sin embargo, en el promedio multianual entre 2002 y 2018 de la PD de excipientes de Colombia alcanza un promedio de 4.042.698 USD.

Adicionalmente, el número de empleos de personas en el segmento de los excipientes alcanzó para el año 2018 un total de 911 personas y se proyecta para el año 2024 un total de 1.026 personas; representando un crecimiento promedio del 2,31% entre 2002 y 2024.



**Figura 6-12. Producción de excipientes y empleo en Colombia**

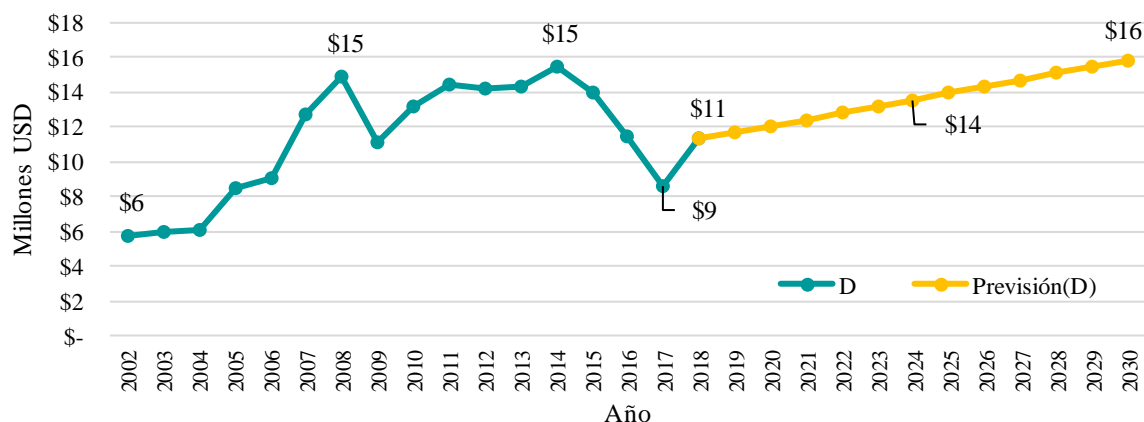


PD: Producción de excipientes (Millones de dólares), X(PD): Promedio (Millones de dólares) y E: Empleo (Número de Personas).

La demanda (D) o consumo aparente histórico de excipientes en Colombia ha presentado entre 2002 y 2018 un crecimiento promedio del 6,0%, para el periodo proyectado entre 2019 y 2030 se espera un crecimiento del 3%.

La demanda de excipientes en el mercado colombiano para el año 2018 fue de \$11.286.709 USD, se espera que para el año 2024 ascienda alrededor de los \$13.550.127 USD.

**Figura 6-13. Demanda de excipientes en Colombia**



De esta manera se concluye que, para el estudio de mercado analizado con anterioridad, existe una demanda creciente del segmento de excipientes en el mercado colombiano farmacéutico; por lo tanto, la producción local de MCC como excipiente para satisfacer la demanda actual y proyectada es atractiva.

Si bien las proyecciones en la demanda de MCC fueron decrecientes, los datos históricos con los que se realizaron los análisis pueden ser insuficientes (12 años), con relación a los utilizados en el segmento de excipientes que fueron de 17 años.

Compartiendo el análisis hecho por Alpizar (2018), el mercado colombiano farmacéutico es autosuficiente, dado que es un fuerte productor de medicamentos; sin embargo, requiere de importaciones de materia prima como lo es el ingrediente activo y excipientes, por lo tanto, esto representa una oportunidad.

Producir MCC como excipiente en Colombia, crearía una oferta nueva en el mercado; además, traería beneficios, debido que los análisis tanto de MCC y de excipientes presentaron una balanza comercial con déficit, y el incrementar la producción y ofertar esta materia prima en el mercado local permitiría satisfacer la demanda aparente; y con respecto al mercado el internacional por medio de exportaciones ocasionaría una entrada de recursos al país y el desarrollo económico nacional.

## 6.2 ESTUDIO TÉCNICO

### 6.2.1 Resultados de simulación

En la Tabla 6-1 y la Tabla 6-2, se muestran los resultados obtenidos para los flujos de entrada y salida de las simulaciones desarrolladas en ASPEN PLUS® para los procesos de síntesis de celulosa MCC-Ac y MCC-IL, respectivamente. En los Anexos 6 y 7 se encuentran los resultados completos de las simulaciones desarrolladas para los procesos MCC-Ac y MCC-IL

Con relación a las entradas de materias primas de los procesos a comparar de síntesis de MCC, se tiene que ambos demandan un consumo de Agua, Biomasa (Residuos de flores), Combustible (Gas Natural CH<sub>4</sub>), Energía eléctrica y Energía calorífica (vapor); sin embargo, el proceso MCC-IL requiere de cinco (5) sustancias diferentes (EMIM[AoC], Dimetilsulfóxido (DMSO), Hidróxido de sodio (NaOH), Ácido clorhídrico (HCl), Etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)) en comparación con los ácidos acético (CH<sub>3</sub>COOH) y clorhídrico (HCl) empleados en el proceso MCC-Ac.

En el caso de las salidas se tiene que ambos procesos sintetizan MCC y que se generan, por parte de algunos equipos, emisiones atmosféricas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). También, como parte de las salidas de los procesos MCC-Ac y MCC-IL, se forman residuos líquidos de agua con sustancias disueltas, en solución y con sólidos disueltos, los cuales para este estudio se agruparon como Aguas Residuales No Domesticas (ARnD). Finalmente, en el proceso MCC-IL se genera Cloruro de Sodio (NaCl) en solución y se cataloga como un subproducto, que difiere con relación al proceso MCC-Ac.

**Tabla 6-1. Entradas y salidas método acetosolv (MCC-Ac)**

<b>MCC-Ac</b>				
<b>Entradas</b>				
<b>Equipo/Proceso</b>	<b>Nombre ASPEN PLUS®</b>	<b>Nombre Sustancia</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
CRUSHER	BIOMASA	Biomasa (Residuos flores)	677,51	t/mes
PUMP1	AGUA	Agua del proceso	182,36	t/mes
PUMP2	ACETICO	Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH)	16,07	t/mes
COMPRES	AIRE	Aire comprimido	4,67	t/mes
MIXER	HCL	Ácido clorhídrico (HCl)	13,55	t/mes
PUMP3	AGUALAV	Agua del proceso	2.926,87	t/mes
Consumo de Energía de equipos		Energía eléctrica	23.884,71	kW/mes
		Energía calorífica (vapor)	64.555.978,61	kW/mes
		Combustible (Gas Natural CH <sub>4</sub> )	7.339.370,16	m <sup>3</sup> /mes
Consumo de Agua para procesos térmicos		Agua (H <sub>2</sub> O vapor)	1.613,90	t/mes
		Agua (H <sub>2</sub> O refrigerante)	248.707,60	t/mes
<b>Salidas</b>				
<b>Equipo/Proceso</b>	<b>Nombre ASPEN PLUS®</b>	<b>Nombre Sustancia</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
VENT	AIR-VENT	Aire	4,67	t/mes

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

<b>MCC-Ac</b>			
PERCOLAT	AGUAPER	Agua	2,223,25 t/mes
		Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH) en solución	0,01 t/mes
		Ácido clorhídrico (HCl) en solución	0,01 t/mes
		Furfural	0,02 t/mes
		Grupos acetilo (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )	3,7,E-05 t/mes
		NVDS*	3,2,E-04 t/mes
		Lignina en solución	1,1,E-03 t/mes
	<b>CRISTALL</b>	<b>Celulosa (MCC)</b>	<b>300,58 t/mes</b>
PURIF	BYPRODUC	Xylosa en solución	2,E-04 t/mes
		Agua	460,80 t/mes
		Hemicelulosa en solución	14,25 t/mes
		Celulosa	15,82 t/mes
		Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH) en solución	0,10 t/mes
		Ácido clorhídrico (HCl) en solución	0,10 t/mes
		Furfural	0,17 t/mes
		Grupos acetilo (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )	2,6,E-04 t/mes
		NVDS*	2,3,E-03 t/mes
		OCSP**	3,32 t/mes
		Lignina	131,87 t/mes
		Lignina en solución	0,01 t/mes
STRIP	LICSTRIP	Xylosa en solución	11,44 t/mes
		Agua	5,E-11 t/mes
		Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH) en solución	3,E-09 t/mes
		Ácido clorhídrico (HCl) en solución	7,E-21 t/mes
		Furfural	5,E-06 t/mes
		Grupos acetilo (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )	1,E-37 t/mes
		NVDS*	129,65 t/mes
		Lignina en solución	21,31 t/mes
DISTILLA	AGUADIST	Agua	128,87 t/mes
		Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH) en solución	7,E-04 t/mes
		Ácido clorhídrico (HCl) en solución	0,11 t/mes
		Furfural	4,18 t/mes
		Grupos acetilo (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )	6,5,E-04 t/mes
		Lignina en solución	3,9,E-42 t/mes
Emisiones atmosféricas CO <sub>2</sub>			24.616,91 t/mes

\*NVDS: Sólidos disueltos no volátiles. \*\* OCSP: Otros compuestos en la fase sólida

**Tabla 6-2. Entradas y salidas método Emim[AoC] (MCC-IL)**

<b>MCC-IL</b>				
<b>Entrada</b>				
<b>Equipo/Proceso</b>	<b>Nombre ASPEN PLUS®</b>	<b>Nombre Sustancia</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
CRUSHER	BIOMASA	Biomasa (Residuos flores)	748,48	t/mes
PUMP1	LIQ-IONI	EMIM[AoC]	3,7,E-03	t/mes
PUMP2	DMSO	Dimetilsulfóxido (DMSO)	0,07	t/mes
PUMP4	NAOH	Hidróxido de sodio (NaOH)	0,12	t/mes
	AGUA	Agua del proceso	29,78	t/mes
PUMP5	NAOH-AC	Hidróxido de sodio (NaOH)	0,09	t/mes
	AGUA	Agua del proceso	2,90	t/mes
MIX3	HCL	Ácido clorhídrico (HCl)	0,44	t/mes
	AGUA	Agua del proceso	2,44	t/mes
	ETOH	Etanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	3,55	t/mes
	AGUA	Agua del proceso	0,15	t/mes
REACTOR	NAOH-SOL	Hidróxido de sodio (NaOH)	0,47	t/mes
Consumo de Energía de equipos		Energía eléctrica	3.852,00	kW/mes
		Energía calorífica (vapor)	210.441,28	kW/mes
		Combustible (Gas Natural CH <sub>4</sub> )	33.893,85	m <sup>3</sup> /mes
Consumo de Agua para procesos térmicos		Agua (H <sub>2</sub> O vapor)	27,55	t/mes
		Agua (H <sub>2</sub> O refrigerante)	2.097,55	t/mes
<b>Salida</b>				
<b>Equipo/Proceso</b>	<b>Nombre ASPEN PLUS®</b>	<b>Nombre Sustancia</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
DIST-01	WATER	Agua	26,12	t/mes
		EMIM[AoC] en solución	1,5,E-06	t/mes
		DMSO en solución	0,08	t/mes
		Etanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH) en solución	4,E-06	t/mes
		Hidróxido de sodio (NaOH) en solución	2,E-37	t/mes
SEP-NACL	NACL	Cloruro de Sodio (NaCl)	0,69	t/mes
PURIFIC2	HEM+LIG2	Agua	2,05	t/mes
		Hemicelulosa en solución	162,47	t/mes
		Celulosa	1,71	t/mes
		Ácido clorhídrico (HCl) en solución	4,4,E-03	t/mes
		OCSP*	85,86	t/mes
		Lignina en solución	142,01	t/mes
		EMIM[AoC] en solución	2,6,E-03	t/mes
		Etanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH) en solución	3,55	t/mes
Hidróxido de sodio (NaOH) en solución	0,12	t/mes		

		<b>MCC-IL</b>		
		Agua	6,76	t/mes
		Hemicelulosa en solución	28,64	t/mes
SEP-CELL	HEM+LIG1	Celulosa	1,15	t/mes
		OCSP*	8,48	t/mes
		Lignina en solución	4,39	t/mes
		Hidróxido de sodio (NaOH) en solución	0,09	t/mes
		<b>MIX4</b>	<b>CELL CRIS</b>	<b>Celulosa (MCC)</b>
		Agua	0,75	t/mes
		Hemicelulosa en solución	0,03	t/mes
PURIFIC1	BYPROD1	Celulosa	4,60	t/mes
		OCSP*	0,01	t/mes
		Lignina en solución	4,4,E-03	t/mes
		Hidróxido de sodio (NaOH) en solución	9,0,E-05	t/mes
		Emisiones atmosféricas CO <sub>2</sub>		

\*OCSP: Otros compuestos en la fase sólida

En términos comparativos, como se puede observar en la Tabla 6-3, el proceso MCC-IL requiere un 10,48% más de biomasa que el proceso MCC-Ac, esto significa que en actividades logísticas se requiere de mayor espacio de almacenamiento y un mayor esfuerzo en el transporte de la materia prima de residuos de flores.

Con relación al consumo de agua, el proceso MCC-IL requiere de un 99,15% menos que el proceso MCC-Ac. Así mismo, el proceso MCC-IL requiere de un 99,54% menos de gas natural (CH<sub>4</sub>), un 83,87% menos de energía eléctrica y 99,67% menos de energía calorífica, en comparación con el proceso MCC-Ac.

Así pues, con los resultados de la simulación en ASPEN PLUS<sup>®</sup> de los procesos de síntesis de celulosa MCC-Ac y MCC-IL, se tiene que el proceso convencional acetosolv demanda mayor consumo energético, de agua y combustible en comparación con el proceso alternativo con el LI Emim[AoC]. Las implicaciones ambientales se describen en el numeral 6.4.

**Tabla 6-3. Comparación de los flujos de entrada para los procesos MCC-Ac y MCC-IL**

Nombre Sustancia	Cantidad por proceso		Unidad	Variación (%)
	MCC-Ac	MCC-IL		
Biomasa (Residuos flores)	677,51	748,48	t/mes	▲ 10,48
Agua (H <sub>2</sub> O)	253.430,72	2.160,37	t/mes	▼ -99,15
Combustible (Gas Natural CH <sub>4</sub> )	7.339.370,16	33.893,85	m <sup>3</sup> /mes	▼ -99,54
Energía eléctrica	23.884,71	3.852,00	kW/mes	▼ -83,87
Energía calor (vapor)	64.555.978,6	210.441,28	kW/mes	▼ -99,67

▼: Disminución porcentual entre el proceso MCC-IL y el proceso MCC-Ac, ▲: Aumento porcentual entre el proceso MCC-IL y el proceso MCC-Ac.

El proceso MCC-IL tiene la capacidad de sintetizar 308,94 t/mes de MCC, lo que significa un incremento de 2,78% de producto en comparación con el proceso MCC-Ac con 300,58 t/mes, como se observa en la Tabla 6-4. Lo anterior va ligado al requerimiento de biomasa mayor para el proceso MCC-IL y a que se requieren de un menor consumo de insumos en los flujos de entrada de dicho proceso (Tabla 6-3).

En el caso de las ARnD para tratar, el proceso MCC-IL genera un 84,77% menos que el proceso MCC-Ac (Tabla 6-4). Cabe aclarar, que en el presente estudio las ARnD corresponden a la sumatoria en masa por unidad de tiempo de todas las salidas de residuos líquidos para cada uno de los procesos analizados.

Con relación a las salidas, el proceso MCC-Ac genera 24.511,22 t/mes de CO<sub>2</sub>, ocasionadas por el consumo energético de los equipos, en comparación con el proceso alternativo MCC-IL que obtuvo un valor de 105,70 t/mes de CO<sub>2</sub>, lo que significa una disminución del 99,577% entre el proceso convencional al alternativo (Tabla 6-4).

**Tabla 6-4. Comparación de los flujos de salida para los procesos MCC-Ac y MCC-IL**

Nombre Sustancia	Cantidad por proceso		Unidad	Variación (%)
	MCC-Ac	MCC-IL		
Celulosa Microcristalina (MCC)	300,58	308,94	t/mes	▲ 2,78
Agua Residual No Domestica (ARnD) para tratar	3.145,32	478,875	t/mes	▼ -84,77
Emisión atmosférica dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	24.616,91	105,7	t/mes	▼ -99,57

▼: Disminución porcentual entre el proceso MCC-IL y el proceso MCC-Ac. ▲: Aumento porcentual entre el proceso MCC-IL y el proceso MCC-Ac.

En resumen, el proceso MCC-IL consume menos materias primas que el proceso MCC-Ac, produce una cantidad mayor de MCC y genera menos residuos y emisiones que el proceso convencional.

## 6.2.2 Análisis de localización

Luego de analizar el mercado colombiano y las características técnicas en la síntesis de MCC para uso como excipiente, es conveniente determinar la ubicación donde se desarrollará el proceso productivo, a partir del análisis de la localización “Macro” y “Micro”, como se describe en el numeral 5.3.2.

### 6.2.2.1 Macro localización

La principal materia prima para desarrollar un proyecto productivo de síntesis de MCC corresponde a la biomasa lignocelulósica, la cual para este estudio se obtendrá de los residuos agroindustriales de los cultivos de flores que existen en Colombia; por tal motivo en el análisis de Macro localización se tendrán en cuenta las regiones del país que generen este tipo de biomasa.

En este sentido, según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020), la cadena de flores en Colombia representa el segundo renglón de las exportaciones agrícolas del país. Colombia es el segundo exportador mundial de flores, primer exportador de claveles y principal proveedor de los Estados Unidos.

Los departamentos de Cundinamarca y Antioquia corresponden a las zonas de producción de flores con mayor participación en áreas cultivadas, cada una con el 66% y el 32,60% respectivamente (Tabla 6-5 y Figura 6-14).

Con respecto a la generación de residuos de flores como biomasa lignocelulósica se tiene una generación total para el departamento de Cundinamarca de 13.975,50 t/mes y de 6.902,50 t/mes para Antioquia (Tabla 6-5). Es así como en Colombia se genera un total anual de 254.100 t/año de biomasa proveniente de residuos agroindustriales de cultivos de flores.

**Tabla 6-5. Estimación de residuos de flores en Colombia**

Zonas de producción de flores	Área cultivada (ha)	Participación (%)	$C_{RF}$ (t/ha x mes)	$C_{RF}$ (t/ha x años)	Residuos de flores (t/mes)	Residuos de flores (t/año)
Antioquia	2.510	32,60			6.902,50	82.830,00
Cundinamarca	5.082	66,00			13.975,50	167.706,00
Otros: Risaralda, Caldas, Quindío y Valle del Cauca.	108	1,40	2,75	33	297,00	3.564,00
<b>Total</b>	<b>7.700</b>	<b>100</b>			<b>211.75,00</b>	<b>254.100,00</b>

De acuerdo a los resultados anteriores, la macro localización de un proyecto que sintetice MCC estará estrechamente ligado a la facilidad de obtención de la biomasa lignocelulósica; es por esto que, en términos de Macro localización, se escogen los departamentos de Cundinamarca y Antioquia en Colombia, para realizar el análisis de Mico localización del proceso industrial para los principales municipios de las regiones que cultivan flores, correspondientes a las siguientes alternativas de localización:

- **Cundinamarca:** Madrid, El Rosal y Chía.
- **Antioquia:** Rionegro, La Ceja y El Carmen de Viboral.

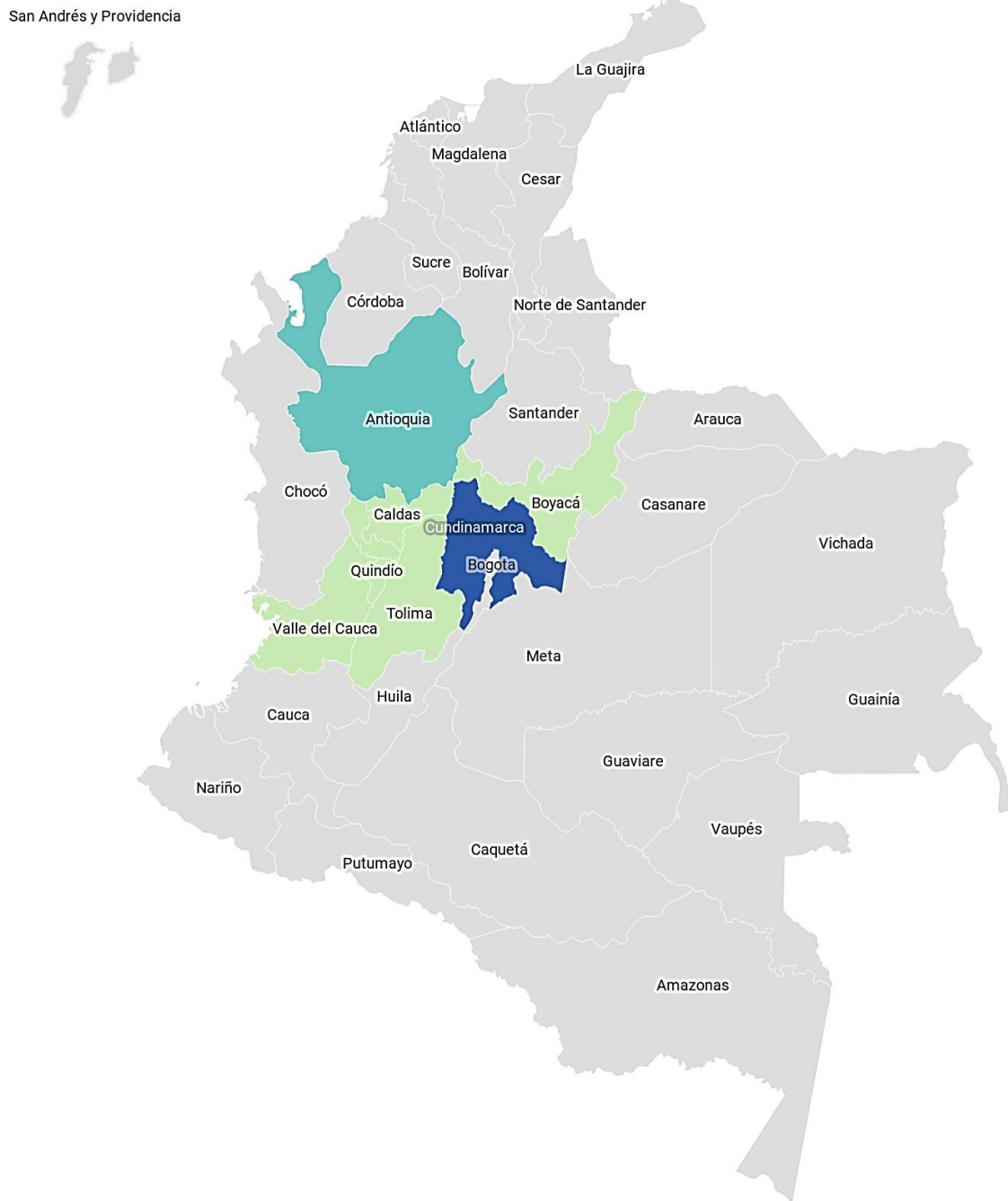


**Figura 6-14. Zonas productoras de flores en Colombia**

El área total de producción de flores con destino a exportación, en el año 2020 corresponde a 7.700 ha del territorio Colombiano.

Porcentaje de participación en la producción nacional (%)

■ Cundinamarca 66,00% ■ Antioquia 32,60% ■ Risaralda, Caldas, Quindío y Valle del Cauca 1,40%



Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia 2020 - Creado con Datawrapper

### 6.2.2.2 Micro localización

Por medio del análisis multicriterio realizado con el software Total Decision® y el cual basa sus cálculos en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP); se formularon siete (7) criterios de selección: *Costo espacio físico*, *Costos servicios públicos*, *Desempeño municipal*, *Valor Agregado (Actividad económica secundaria)*, *Índice de vulnerabilidad cambio climático*, *Disponibilidad de clientes*, *Cercanía a puertos y aeropuertos*; los cuales se evaluaron de manera directa para alcanzar el objetivo de identificar cuál de las seis (6) alternativas de localización es la más adecuada, como se describió en la metodología, y se ponderaron como se muestra en la Figura 6-15. La ratio de inconsistencia siempre fue menor al 10%, dando evidencia de un juicio informado.

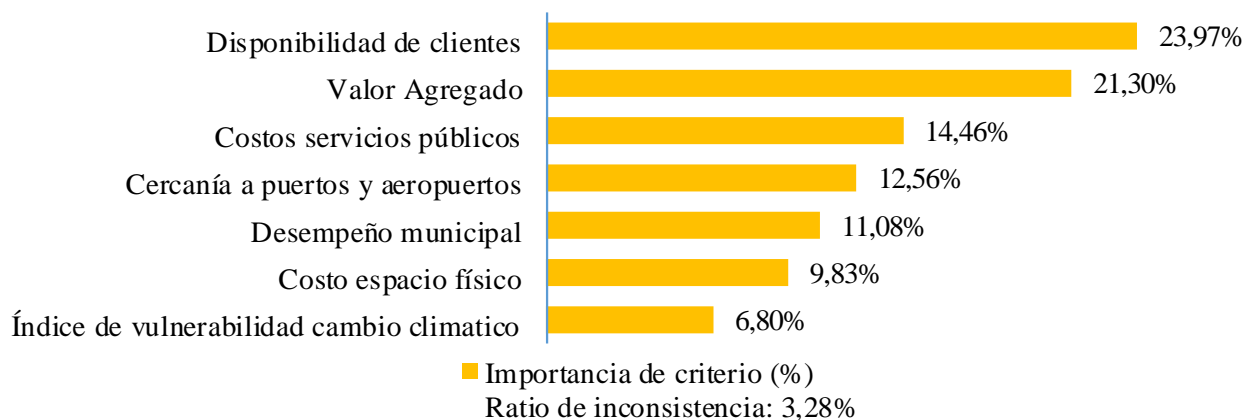
**Figura 6-15. Matriz de ponderación de criterios**

	Costo espacio físico	Costos servicios públicos	Desempeño municipal	Valor Agregado	Índice de vulnerabilidad cambio climático	Disponibilidad de clientes	Cercanía a puertos y aeropuertos
Costo espacio físico	1	1/2	1/2	1/2	2	1/2	1
Costos servicios públicos	2	1	2	1/2	2	1/2	1
Desempeño municipal	2	1/2	1	1/2	2	1/2	1/2
Valor Agregado	2	2	2	1	2	1/2	2
Índice de vulnerabilidad cambio climático	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/2
Disponibilidad de clientes	2	2	2	1	3	1	3
Cercanía a puertos y aeropuertos	1	1	2	1/2	2	1/3	1

Ratio de inconsistencia: 3,28%

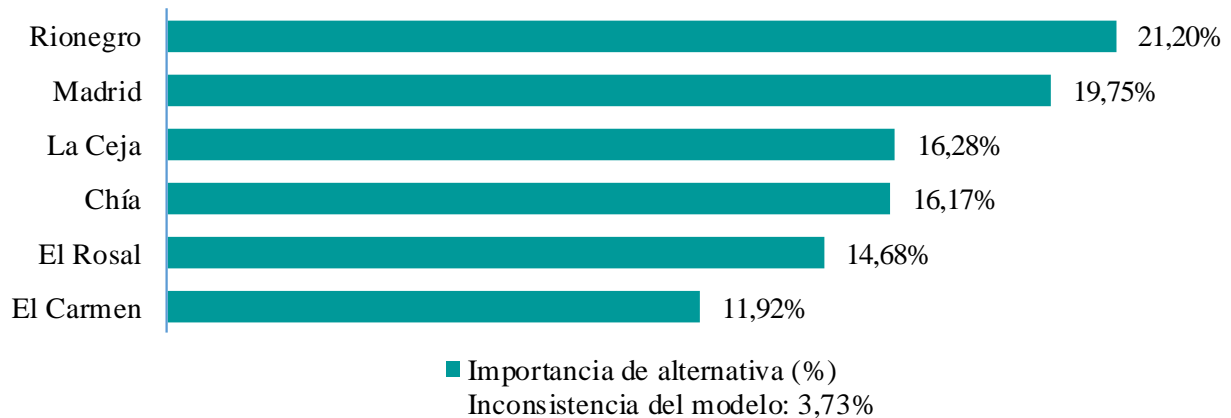
En la Figura 6-16 se muestra la importancia de cada uno de los criterios evaluados y ponderados; donde el criterio de disponibilidad de clientes es el más importante de todos con un 23,97%, seguido por el criterio de valor agregado económico (actividades secundarias o industriales) con el 21,30%.

**Figura 6-16. Importancia de los criterios de selección**



Como resultado final del AHP, se tiene que el municipio de Rionegro del departamento de Antioquia se constituye en la mejor alternativa para localizar el proceso industrial de síntesis de MCC en Colombia, como se observa en la Figura 6-17, obteniendo una importancia de 21,20% y dejando en segundo lugar el municipio de Madrid en Cundinamarca con una importancia del 19,75%. La ratio de inconsistencia del objetivo del análisis multicriterio fue de 3,73% < 10%, lo que indica evidencia de un juicio informado en la evaluación.

**Figura 6-17. Alternativa de localización del proyecto de síntesis de MCC**



#### 7.7.1.1.1. Análisis de sensibilidad de criterios y alternativas

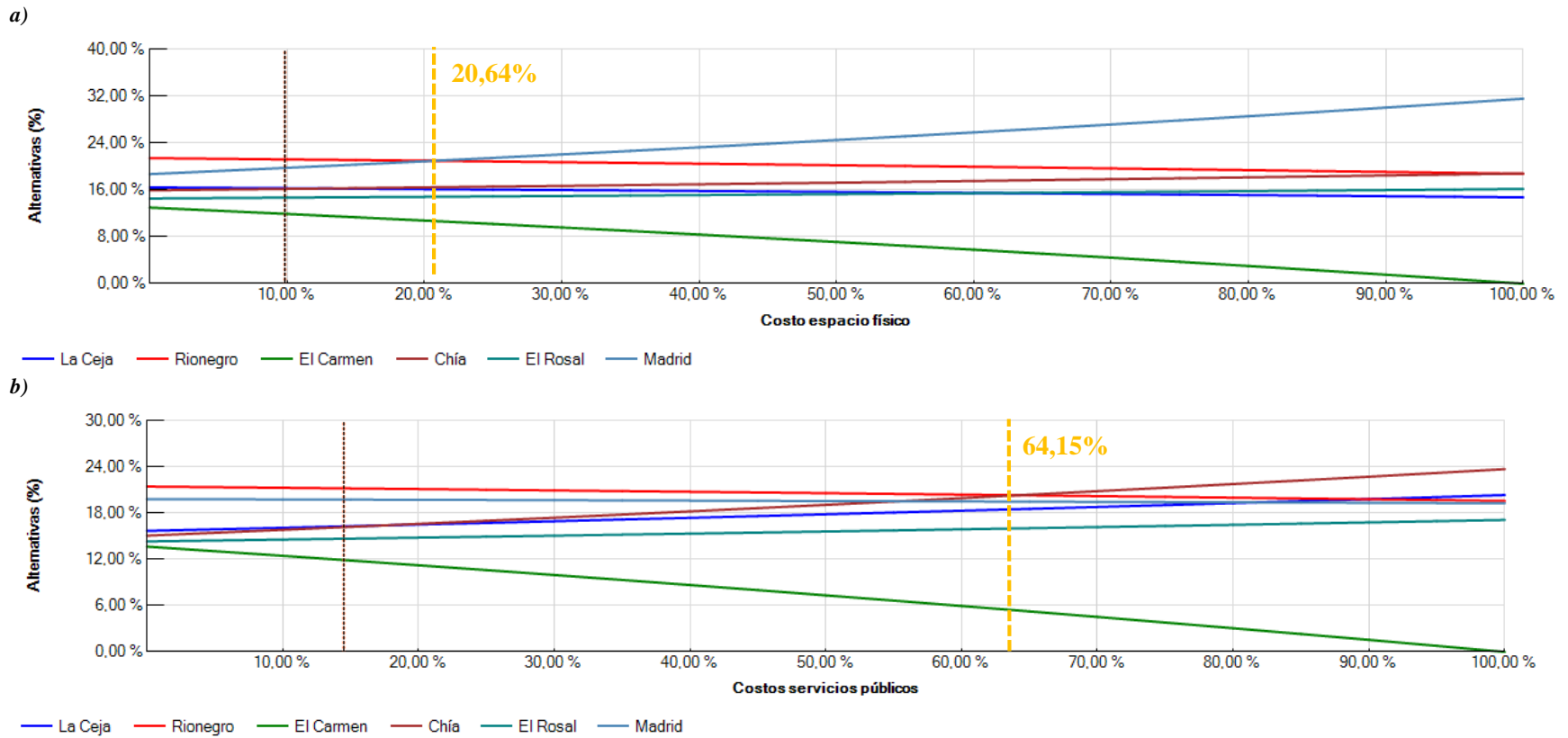
Con el fin de evaluar la variabilidad en la priorización de la alternativa de localización identificada (municipio de Rionegro) con el uso del software Total Decision®, se realizó un análisis de sensibilidad como se muestra en la Figura 6-18, donde se verificó la fluctuación en la importancia de cada uno de los criterios empleados en el cálculo del APH.

En términos generales, para los criterios correspondientes a “*Desempeño municipal, Valor agregado (actividades económicas secundarias) y Cercanías a puertos y aeropuertos*”, las variaciones que se puedan dar a los porcentajes de importancia no representan un cambio en la elección de localización del municipio de Rionegro.

Para los criterios de “*Costos espacio físico, costo servicios públicos, índice de vulnerabilidad al cambio climático y Disponibilidad de clientes*”, se pueden presentar variaciones en los porcentajes de importancia que pueden hacer cambiar el lugar de localización del proyecto; pero las fluctuaciones que se presentan no guardarían un criterio lógico o juicio informado consistente, dado que se darían porcentajes muy altos como se describe a continuación (literales a), b), c), d), e), f) y g) Figura 6-18 ).

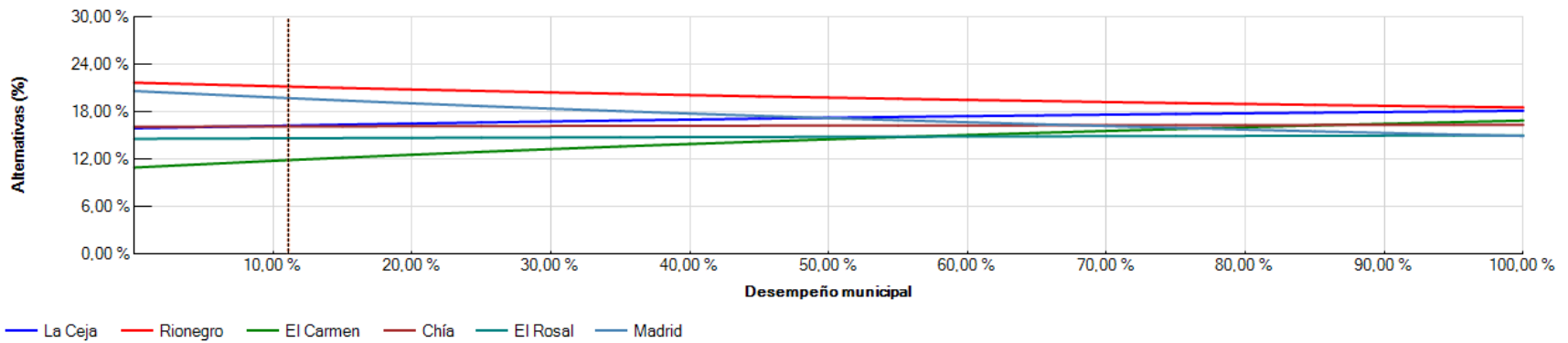
- ***Costos espacio físico***  
Para que el municipio de Madrid sea la alternativa seleccionada se debe dar una importancia a este criterio superior al 20,64%.
- ***Costo servicios públicos***  
Para que el municipio de Chía sea la alternativa seleccionada se debe dar una importancia a este criterio superior al 64,15%. Es la única forma en que el municipio de Chía sea el seleccionado para localizar el proyecto de estudio.
- ***Índice de vulnerabilidad al cambio climático***  
Para que el municipio de Madrid sea la alternativa seleccionada se debe dar una importancia a este criterio superior al 51,88%.
- ***Disponibilidad de clientes***  
Para que el municipio de Madrid sea la alternativa seleccionada se debe dar una importancia a este criterio superior al 57,06%.

**Figura 6-18. Análisis de sensibilidad alternativas y criterios de evaluación**

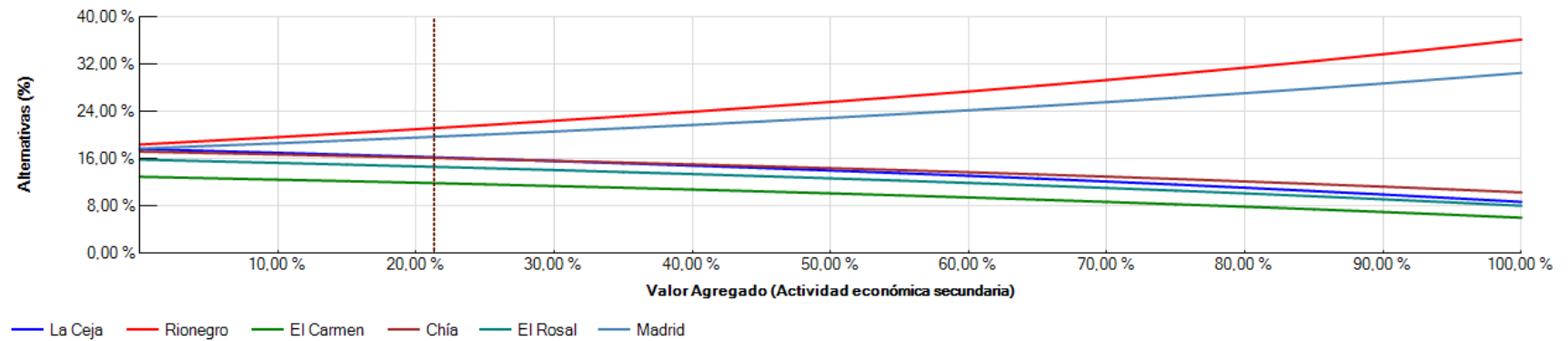


EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

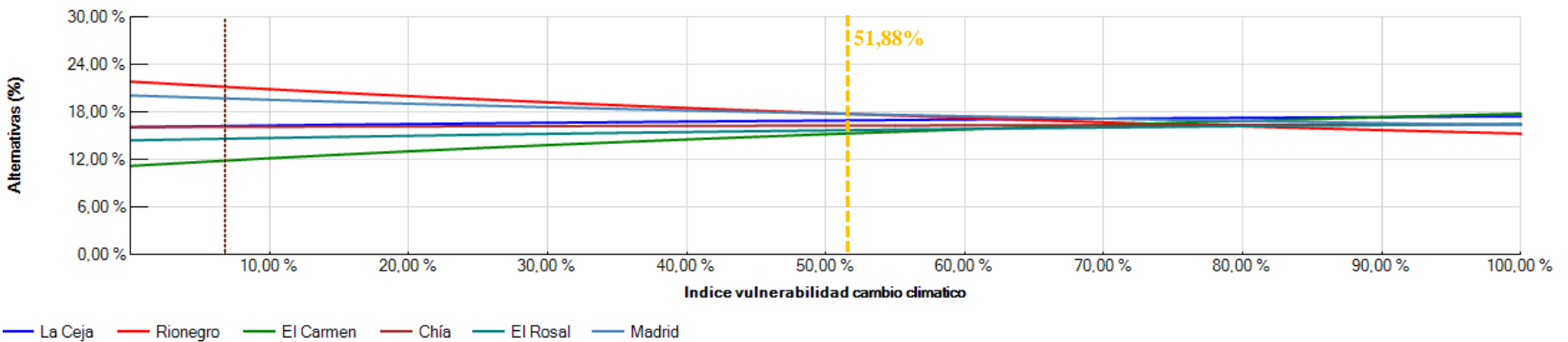
c)



d)

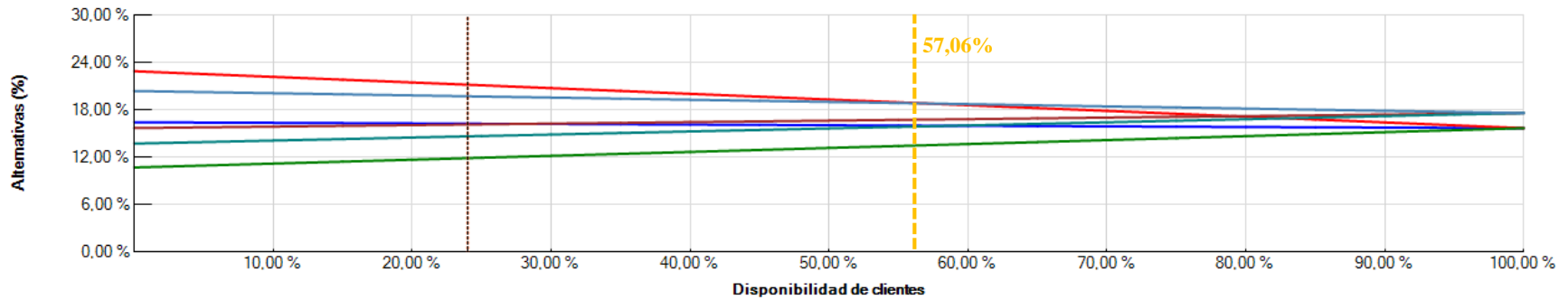


e)



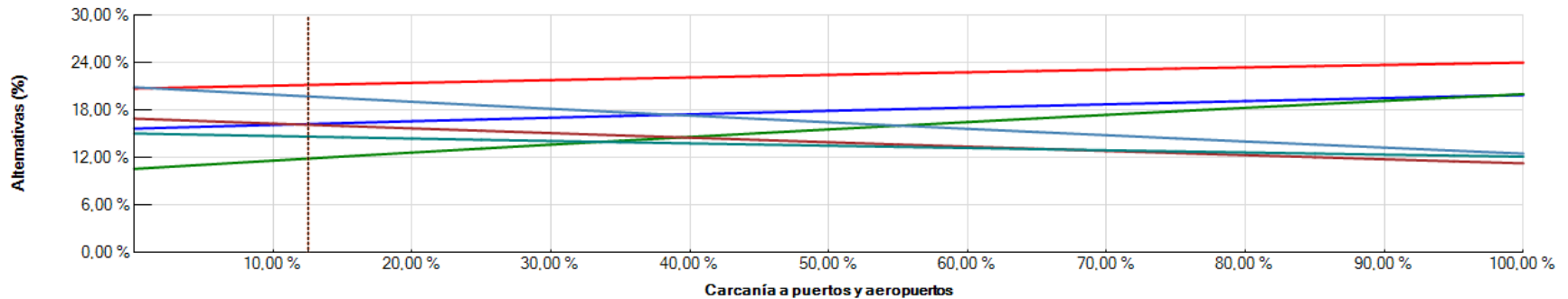
EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

f)



— La Ceja — Rionegro — El Carmen — Chía — El Rosal — Madrid

g)



— La Ceja — Rionegro — El Carmen — Chía — El Rosal — Madrid

a) Costo espacio físico, b) Costo servicios públicos, c) Desempeño municipal, d) Valor agregado (Actividad económica secundaria), e) Índice vulnerabilidad cambio climático, f) Disponibilidad de clientes, g) Cercanía a puertos y aeropuertos.

Luego de este análisis de sensibilidad se afirma que la mejor alternativa de localización de un proyecto de síntesis de MCC a escala industrial corresponde al municipio de Rionegro en Antioquia. La micro localización se realizaría en cualquiera de los espacios correspondientes a bodegas o complejos industriales con los que cuenta este municipio colombiano en su jurisdicción, de acuerdo a los usos del suelo establecidos para las Áreas de actividad industrial, como lo establece el Plan de Ordenamiento Territorial aprobado bajo el Acuerdo 002 de 2018.

### 6.2.3 Análisis normativo y legal

A continuación, se presenta en la Tabla 6-6 el marco normativo vigente para Colombia, que regula la instalación y funcionamiento de un proceso industrial de síntesis de celulosa o MCC como excipiente y el cual contempla las siguientes temáticas:

- Ambiental
- Sanitario
- Mercantil y comercial
- Laboral
- Financiero

**Tabla 6-6. Marco normativo vigente aplicable**

Norma / Documento	Fecha de expedición	Entidad que lo publica	Descripción
Decreto Ley 2663 de 1950	5/08/1950	Presidencia de la República de Colombia	"Sobre Código Sustantivo del Trabajo", en virtud del Estado de Sitio promulgado por el Decreto Extraordinario No 3518 de 1949.
Decreto Ley 2811 de 1974	18/12/1974	Presidencia de la República de Colombia	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente
Decreto 2092 de 1986	2/07/1986	Presidencia de la República de Colombia	Por el cual se reglamentan parcialmente los Títulos VI y XI de la ley 09 de 1979, en cuanto a Elaboración, Envase o Empaque, Almacenamiento, Transporte y Expendio de medicamentos, Cosméticos y Similares.
Ley 55 de 1993	2/07/1993	Congreso de Colombia	Por medio de la cual se aprueba el "Convenio No. 170 y la Recomendación número 177 sobre la Seguridad en la Utilización de los Productos Químicos en el trabajo", adoptados por la 77a. Reunión de la Conferencia General de la O.I.T., Ginebra, 1990
Ley 99 de 1993	22/12/1993	Congreso de La República de Colombia	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
Ley 100 de 1993	23/12/1993	Congreso de La República de Colombia	Por la cual se crea el sistema de seguridad social integral y se dictan otras disposiciones
Decreto 677 de 1995 y sus modificaciones	26/04/1995	Presidencia de la República de Colombia	Por lo cual se reglamenta parcialmente el Régimen de Registros y Licencias, el Control de Calidad, así como el Régimen de Vigilancia Sanitarias de Medicamentos, Cosméticos, Preparaciones Farmacéuticas a base de Recursos Naturales, Productos de Aseo, Higiene y Limpieza y otros productos de uso doméstico y se dictan otras disposiciones sobre la materia.
Decreto 4725 de 2005	26/12/2005	Presidencia de la República de Colombia	Por el cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano.
Decreto 4741 de 2006	30/12/2005	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.  Integrado al Decreto Único Ambiental 1076 de 2015
Resolución 627 de 2006	7/04/2006	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental



EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Norma / Documento	Fecha de expedición	Entidad que lo publica	Descripción
Resolución 1478 de 2006	7/06/2006	Ministerio de Protección Social de la República de Colombia	Por la cual se expiden normas para el control, seguimiento y vigilancia de la importación, exportación, procesamiento, síntesis, fabricación, distribución, dispensación, compra, venta, destrucción y uso de sustancias sometidas a fiscalización, medicamentos o cualquier otro producto que las contengan y sobre aquellas que son monopolio del Estado.
Ley 1314 de 2009	13/07/2009	Congreso de La República de Colombia	Por la cual se regulan los principios y normas de contabilidad e información financiera y de aseguramiento de información aceptados en Colombia, se señalan las autoridades competentes, el procedimiento para su expedición y se determinan las entidades responsables de vigilar su cumplimiento
Resolución 1023 de 2010	28/05/2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por la cual se adopta el protocolo para el monitoreo y seguimiento del Subsistema de Información sobre Uso de Recursos Naturales Renovables – SIUR, para el sector manufacturero y se dictan otras disposiciones.
Ley 1575 de 2012	21/08/2012	Congreso de La República de Colombia	Por medio de la cual se establece la Ley General de Bomberos de Colombia.
Resolución 4143 DE 2012	7/12/2012	Ministerio de Salud y Protección Social de la República de Colombia	Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos plásticos y elastoméricos y sus aditivos, destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano en el territorio nacional.
Decreto 2706 de 2012	27/12/2012	Presidencia de la República de Colombia	Por el cual se reglamenta la Ley 1314 de 2009 sobre el marco técnico normativo de información financiera para las microempresas
Decreto 2784 de 2012	28/12/2012	Presidencia de la República de Colombia	Por el cual se reglamenta la Ley 1314 de 2009 sobre el marco técnico normativo para los preparadores de información financiera que conforman el Grupo 1
Decreto 1851 de 2013	29/08/2013	Presidencia de la República de Colombia	Por el cual se reglamenta la Ley 1314 de 2009 sobre el marco técnico normativa (sic) para los preparadores de información financiera que se clasifican en el literal a) del párrafo del artículo 1° del Decreto número 2784 de 2012 y que hacen parte del Grupo 1.
Norma Técnica Colombiana NTC 6019	18/09/2013	ICONTEC Internacional Min Ambiente Colombia	Etiquetas Ambientales Tipo I. Sello Ambiental Colombiano. Criterios Ambientales para pulpa, papel y cartón y productos derivados
Resolución 2014022808 de 2014	22/07/2014	Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA)	Por la cual se establecen los ensayos de migración y verificación del cumplimiento de los límites de migración total y específica reglamentados en las Resoluciones 4142 y 4143 de 2012.
Decreto 302 de 2015	20/02/2015	Presidencia de la República de Colombia	Por el cual se reglamenta la Ley 1314 de 2009 sobre el marco técnico normativo para las normas de aseguramiento de la información.
Decreto 1076 de 2015	26/05/2015	Presidencia de la República de Colombia	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Decreto 1077 de 2015 (y sus modificaciones)	26/05/2015	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.
Decreto 1079 de 2015	26/05/2015	Ministerio de Transporte	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Transporte
Decreto 1072 de 2015	26/05/2015	Ministerio de Transporte	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo
Norma Técnica Colombiana NTC 9001	23/09/2015	ICONTEC	Sistemas de Gestión de Calidad. Requisitos
Resolución 1124 DE 2016	5/04/2016	Ministerio de Salud y Protección Social de la República de Colombia	Por la cual se establece la guía que contiene los criterios y requisitos para el estudio de Biodisponibilidad y Bioequiva-

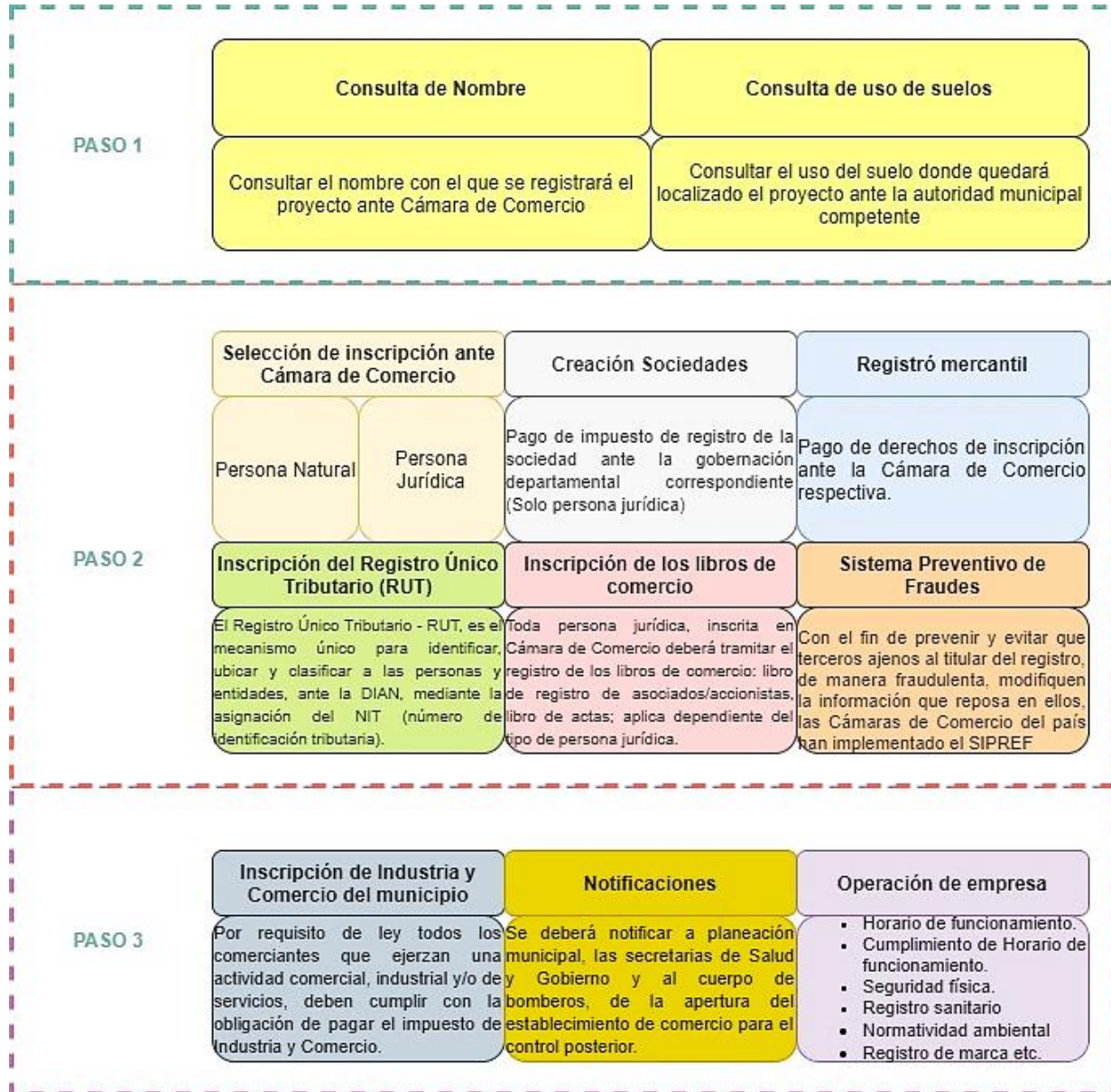
EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Norma / Documento	Fecha de expedición	Entidad que lo publica	Descripción
			lencia de medicamentos, se define el listado de los que deben presentarlos y se establecen las condiciones de las Instituciones que los realicen.
Resolución 1160 de 2016	10/04/2016	Ministerio de Salud y Protección Social de la República de Colombia	Por la cual se establecen los Manuales de Buenas Prácticas de Manufactura y las Guías de Inspección de Laboratorios o Establecimientos de Producción de medicamentos, para la obtención del Certificado de Cumplimiento de las Buenas Prácticas de Manufactura.
Decreto 1625 de 2016	11/10/2016	Presidencia de la República de Colombia	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario en materia tributaria "Por el cual se adopta el Arancel de Aduanas y otras disposiciones"
Decreto 1881 de 2021	30/12/2021	Presidencia de la República de Colombia	Normas sobre clasificación de mercancías y Gravamen: Artículo 1, Capítulo 39: Se designa la partida y subpartida arancelaria correspondiente al código 39.12.90.00.00: correspondiente a Celulosa y sus derivados químicos, no expresados ni comprendidos en otra parte, en formas primarias - Los demás - Gravamen arancelario diferido a 0% por el artículo 1 del Decreto 272 de 2018, "por el cual se modifica el Decreto número 1343 de 2017", publicado en el Diario Oficial No. 50.506 de 13 de febrero de 2018.
Resolución 2254 de 2017	1/11/2017	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se adopta la norma de calidad del aire y se dictan otras disposiciones
Acuerdo 002 de 2018	25/01/2018	Concejo municipal de Rionegro, Antioquia	Por medio del cual se modifica excepcionalmente unas normas urbanísticas del plan de ordenamiento territorial del municipio de Rionegro - Antioquia, Acuerdo 056 de 2011 y se adoptan otras disposiciones
Resolución 5848 DE 2018	28/12/2018	Ministerio de Salud y Protección Social de la República de Colombia	Por la cual se determina la permanencia de unos reglamentos técnicos en materia de medicamentos, dispositivos médicos, productos fitoterapéuticos, homeopáticos y reactivos de diagnóstico in vitro
Resolución 886 de 2019	10/04/2019	Ministerio de Salud y Protección Social de la República de Colombia	Por la cual se modifica la Resolución número 1160 de 2016 en el sentido de prorrogar su entrada en vigencia.
Resolución 2184 de 2019	26/12/2019	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS	Por la cual se modifica la resolución 668 de 2016 sobre el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones
Resolución 2020027137 DE 2020	21/08/2020	Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA)	Por la cual: "Se actualizan las tarifas en el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos "Invima".
Decreto 390 de 2020	29/12/2020	Alcaldía del municipio de Rionegro del departamento de Antioquia	Por el cual se adopta la clasificación industrial internacional uniforme de todas las actividades económicas - asignación específica de usos del suelo, revisión 4 adaptada para Colombia CIIU REV.4 A.C para el municipio de Rionegro
Decreto 1756 de 2020	23/12/2020	Presidencia de la República de Colombia	Por el cual se adiciona la Sección 2 al Capítulo 46 del Libro 2 de la Parte 2 del Título 2 del Decreto 1074 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Comercio, Industria y Turismo

Luego de revisar el marco normativo compilado anteriormente, se concluye que el desarrollo de un proceso industrial del cual se obtiene MCC es viable desde el punto de vista legal, dado que la ejecución de dicha actividad no es considerada ilegal y debe acogerse a lo señalado en la Tabla 6-6 y la normatividad que se modifique o se derogue.

En este sentido y conforme a la normatividad vigente para Colombia y a lo que se describe en el portal web oficial de “La Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño”<sup>9</sup>, a continuación se presentan los tres (3) pasos para conformar una actividad industrial en el sitio identificado en la micro localización (Figura 6-19).

**Figura 6-19. Formalización de actividad económica o industrial en Colombia**



## 6.3 ESTUDIO ECONÓMICO

### 6.3.1 Resultados de la estimación de los costos mano de obra

Se calculó a partir de dos insumos, el primero corresponde a la escala de mínimos de remuneración para el año 2020 (Enlace Profesional, 2020) y el segundo a la cantidad de mano de obra promedio por proceso que arrojó un total de sesenta y seis (66) empleados, de los cuales cincuenta (50) corresponden a operarios. El gasto total de la nómina al mes es de 255.315.763,1 COP. Estos costos aplican para las dos alternativas de proceso (MCC-Ac y MCC-IL).

*Tabla 6-7. Costos mano de obra*

Cargo	Cantidad	Total mes (COP)	Total año (COP)
Gerente General	1	\$7.645.379	\$91.744.553
<b>Calidad</b>			
Jefe de Investigación y Laboratorio	1	\$6.429.415	\$77.152.974
Auxiliar de Calidad	1	\$5.136.325	\$61.635.898
<b>Producción</b>			
Jefe de Producción	1	\$6.711.273	\$80.535.281
Asistente de Producción	1	\$3.999.792	\$47.997.505
Operarios	50	\$173.621.731	\$2.083.460.766
Profesional de Mantenimiento	1	\$3.999.792	\$47.997.505
Auxiliar Mantenimiento	1	\$5.136.325	\$61.635.898
Almacenista	1	\$3.444.989	\$41.339.866
<b>Gestión humana</b>			
Jefe de Recursos Humanos	1	\$6.429.415	\$77.152.974
Profesional de Gestión Humana	1	\$3.831.809	\$45.981.714
Profesional de Compras	1	\$3.831.809	\$45.981.714
Profesional de Logística	1	\$3.931.691	\$47.180.292
Profesional Contable	1	\$3.831.809	\$45.981.714
Profesional Nomina	1	\$3.831.809	\$45.981.714
Profesional de Informática	1	\$3.831.809	\$45.981.714
Comercial	1	\$3.073.583	\$36.883.001
<b>Gestión integral</b>			
Jefe de Gestión Integral	1	\$6.597.006	\$79.164.076
<b>Total</b>	<b>66</b>	<b>\$255.315.763</b>	<b>\$3.063.789.157</b>

*Nota.* Cálculos propios con información de Enlace Profesional (2020)

### 6.3.2 Resultados de estimación de los costos de constitución de empresa

Se consultaron los costos establecidos legalmente para constituir empresa, de esta forma los procesos productivos empleados tendrían soporte legal (Tabla 5-10).

**Tabla 6-8. Gastos de constitución**

Norma	Permiso	Descripción	Año 0 Costo (COP)	Año 1 Costo (COP)
Ley 1575 de 2012 y Concepto 012 de 2002, "Se refiere al Concepto de Legalidad Inspección Técnica de Bomberos"	Certificado de Bomberos	Precio de referencia para Bogotá, con duración anual	\$60.000	\$60.000
Resolución No. 2020046413 del 30 de diciembre de 2020	Licencia Sanitaria	Análisis de materias primas, aditivos, otros. Cód. 2049	\$1.393.138	\$1.393.138
Decreto 1756 del 23 de diciembre de 2020, que reglamenta el artículo 129 de la Ley 2063 de 2020.	Cámara de comercio Registro Mercantil	Constitución y registro de la sociedad, matrícula persona jurídica e inscripción de libros + Formulario para registro mercantil	\$115.200	\$0,0
Decreto 1756 del 23 de diciembre de 2020	Renovación anual registro mercantil	Tarifa de la renovación anual del registro mercantil efectuado durante los tres (3) primeros meses del año siguiente	\$1.180.850	\$1.180.850
<b>Total</b>			<b>\$2.749.188</b>	<b>\$2.633.988</b>

### 6.3.3 Resultado de los costos de servicios públicos

Se determinaron los costos de servicios públicos tanto para la mano de obra, como para los procesos productivos analizados.

#### 6.3.3.1 Dotación trabajadores

Los costos de servicios públicos atribuidos a las necesidades o generación de los empleados corresponde a \$1.039.119 COP al mes de operación de cualquiera de las dos alternativas estudiadas (Tabla 6-9).

**Tabla 6-9. Costos servicios públicos (dotación de empleados)**

Servicio público	Tarifa servicio doméstico		Costo consumo personal (mes)		
	Tipo	COP	Consumo /Generación mensual	Unidad	COP
Acueducto	Cargo Fijo (\$/ Instalación)	\$9.161,61	1	(\$/ Instalación)	\$9.161,61
	Cargo por consumo (\$/m <sup>3</sup> )	\$4.204,85	126,72	m <sup>3</sup> /mes	\$532.838,59
Alcantarillado	Cargo Fijo (\$/ Instalación)	\$5.269,12	1	(\$/ Instalación)	\$5.269,12
	Cargo por consumo (\$/m <sup>3</sup> )	\$3.373,68	126,72	m <sup>3</sup> /mes	\$427.512,73
Aseo	Fija	\$18.200,08	1	\$	\$18.200,08
	Aprovechamiento	\$254.324,60	0,18	\$/t	\$46.136,42
<b>Total</b>					<b>\$1.039.119</b>

### 6.3.3.2 Requerimientos de agua, gas y energía en las actividades productivas

Los consumos de agua, energía y gas del proceso MCC-Ac determinados por medio de la simulación en ASPEN PLUS®, muestran que son muy superiores a los del proceso MCC-IL; por lo tanto, sus costos difieren bastante, como se evidencia en la Tabla 6-10 y Tabla 6-11.

En total los costos por acueducto, energía, gas natural y alcantarillado asociados a la síntesis de MCC para el proceso MCC-IL son 99,63% más económicos que el proceso MCC-Ac, debido a que los valores asociados a los consumos de estos servicios son \$216.450.750,95 COP y \$59.090.431.577,09 COP, respectivamente.

**Tabla 6-10. Requerimientos proceso MCC-Ac**

Servicio	Tarifa		Costo consumo proceso (mes)			
	Servicio	Tipo	COP	Cantidad	Unidad	COP
Agua (H <sub>2</sub> O proceso)				3.109,23	t/mes	13.073.831,80
Agua (H <sub>2</sub> O vapor)	Acueducto	Cargo por consumo (\$/m <sup>3</sup> )	\$4.205	1.613,90	t/mes	6.786.205,17
Agua (H <sub>2</sub> O refrigerante)				248.707,60	t/mes	1.045.778.140,28
Energía eléctrica	Energía	Cargo consumo industrial mayor a 20m <sup>3</sup> (\$/m <sup>3</sup> )	\$723	23.884,71	kW/mes	17.263.870,54
Energía calor (vapor)				64.555.978,61	kW/mes	46.661.061.336,56
Combustible (Gas Natural CH <sub>4</sub> )	Gas Natural	Cargo consumo (\$/m <sup>3</sup> )	\$1.545	7.339.370,16	m <sup>3</sup> /mes	11.336.978.293,74
Vertimiento alcantarillado	Alcantarillado	Cargo por consumo (\$/m <sup>3</sup> )	\$3.374	2.812,92	t/mes	9.489.899,00
<b>Total</b>						<b>▲ \$59.090.431.577,09</b>

**Tabla 6-11. Requerimientos proceso MCC-IL**

Consumo	Tarifa		Costo consumo proceso (mes)			
	Servicio	Tipo	COP	Cantidad	Unidad	COP
Agua (H <sub>2</sub> O proceso)				35,28	t/mes	\$148.341,47
Agua (H <sub>2</sub> O vapor)	Acueducto	Cargo por consumo (\$/m <sup>3</sup> )	\$4.204,85	27,55	t/mes	\$115.827,27
Agua (H <sub>2</sub> O refrigerante)				2.097,55	t/mes	\$8.819.876,64
Energía eléctrica	Energía	Cargo consumo industrial mayor a 20m <sup>3</sup> (\$/m <sup>3</sup> )	\$722,80	3852,00	kW/mes	\$2.784.225,60
Energía calor (vapor)				210.441,28	kW/mes	\$152.106.954,29
Combustible (Gas Natural CH <sub>4</sub> )	Gas Natural	Cargo consumo (\$/m <sup>3</sup> )	\$1.544,68	33.893,85	m <sup>3</sup> /mes	\$52.355.154,79
Vertimiento alcantarillado	Alcantarillado	Cargo por consumo (\$/m <sup>3</sup> )	\$3.373,68	35,68	t/mes	\$120.370,89
<b>Total</b>						<b>▼ \$216.450.750,95</b>

### 6.3.4 Resultados de los costos de sustancias químicas y materias primas

Los costos de sustancias químicas y materias primas de los procesos MCC-Ac y MCC-IL se determinaron multiplicando la cantidad consumida al mes por el precio unitario, el cual se identificó por medio de cotizaciones hechas a proveedores colombianos e internacionales de sustancias químicas.

Como se puede observar en la Tabla 6-12 y en la Tabla 6-13, el costo de materias primas en el proceso MCC-Ac es un 65,05% más costoso que en el proceso MCC-IL, teniendo en cuenta que el proceso alternativo emplea tres (3) sustancias más que el proceso convencional.

**Tabla 6-12. Requerimientos de materias primas en el proceso MCC-Ac**

Sustancia	Costo unitario			Costo consumo proceso (mes)		
	Cantidad	Unidad	COP	Cantidad	Unidad	COP
Biomasa (Residuos flores)	1,00	t	-	677,51	t/mes	\$0,00
Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH)	1,00	t	\$5.319.900,00	16,07	t/mes	\$85.492.920,96
Ácido clorhídrico (HCl)	1,00	t	\$412.000,00	13,55	t/mes	\$5.582.660,38
<b>Total</b>						<b>▲\$91.075.581,34</b>

**Tabla 6-13. Requerimientos de materias primas en el proceso MCC-IL**

Sustancia	Costo unitario			Costo consumo proceso (mes)		
	Cantidad	Unidad	COP	Cantidad	Unidad	COP
Biomasa (Residuos flores)	1,00	t	-	748,48	t/mes	\$0,00
EMIM[AoC] (LI)	1,00	t	1.491.262.500	0,004	t/mes	\$5.515.400
Dimetilsulfóxido (DMSO)	1,00	t	7.231.100	0,07	t/mes	\$541.096
Hidróxido de sodio (NaOH)	1,00	t	1.050.000	0,68	t/mes	\$717.775
Ácido clorhídrico (HCl)	1,00	t	412.000	0,44	t/mes	\$179.851
Etanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	1,00	t	7.006.337	3,55	t/mes	\$24.876.265
<b>Total</b>						<b>▼\$31.830.387</b>

### 6.3.5 Resultado de los costos de transporte de residuos de flores

Debido a que el proceso MCC-IL requiere de la consecución de una cantidad de biomasa superior al proceso MCC-Ac, los costos de recolección son más altos por \$5.502.492,39 COP y representan una diferencia del 9,48% (Tabla 6-14).

**Tabla 6-14. Costo recolección residuos de flores**

Proceso	Cantidad residuos flores		Cantidad de viajes (mes)	Costo (COP)
	t/mes	m <sup>3</sup> /mes		
MCC-Ac	677,51	2.258,36	151	\$52.528.131,74
MCC-IL	748,48	2.494,93	166	\$58.030.624,14

### 6.3.6 Resultado de los costos de máquinas y equipos

Como se observa en la Tabla 6-15, el proceso alternativo MCC-IL requiere de un 2,53% más de inversión con relación al proceso convencional MCC-Ac, debido a que necesita una mayor cantidad de números de equipos para su proceso productivo (Tabla 5-12).

**Tabla 6-15. Equipos y maquinarias para los procesos MCC-Ac y MCC-IL**

Equipo y maquinaria		Costo MCC-Ac (COP)	Costo MCC-IL (COP)
Equipo de proceso		\$416.458.172	\$433.360.785
Vehículos	Minicargador	\$80.000.000	\$80.000.000
	Montacargas	\$119.000.000	\$119.000.000
	Estibador	\$16.000.000	\$16.000.000
Equipo de computo		\$38.304.000	\$38.304.000
<b>Total</b>		<b>\$668.962.372</b>	<b>\$685.864.985</b>

Luego de ajustar el precio de los equipos de cada proceso estudiado, con factores de corrección por importación (12% costos de importación China a Colombia) y por ajuste de cambio de divisa (25% sobre la tasa de cambio USD a COP), se procedió a determinar los costos relacionados con la inversión de capital como se muestra en la Tabla 6-16 y la Tabla 6-17, allí se resumen las inversiones que se deben hacer para instalación de equipos y su instrumentación.

**Tabla 6-16. Costos de inversión de capital para plantas multipropósito**

Componente	Porcentaje FCI (%)	Porcentaje FCI Normalizado (%)	Costo estimado (COP)
<b>Equipo comprado*</b>	<b>30</b>	<b>32,26</b>	<b>\$417.000.000</b>
Instalación de equipos adquiridos	10	10,75	\$139.000.000
Instrumentación	10	10,75	\$139.000.000
Tubería	10	10,75	\$139.000.000
Eléctrico	6	6,45	\$83.000.000
Mejoras en el patio	2	2,15	\$28.000.000
Instalaciones de servicio	10	10,75	\$139.000.000
Ingeniería y supervisión	5	5,38	\$70.000.000
Honorario del contratista	2	2,15	\$28.000.000
Contingencia	8	8,60	\$112.000.000

\*Corresponde al valor del "Equipo de proceso" redondeado a la cifra superior más cercana.

**Tabla 6-17. Porcentajes típicos de valores de inversión de capital para plantas multipropósito**

Componente	Porcentaje FCI (%)	Porcentaje FCI Normalizado (%)	Costo estimado COP
<b>Equipo comprado*</b>	<b>30</b>	<b>32,26</b>	<b>\$433.000.000</b>
Instalación de equipos adquiridos	10	10,75	\$144.000.000
Instrumentación	10	10,75	\$144.000.000
Tubería	10	10,75	\$144.000.000
Eléctrico	6	6,45	\$87.000.000
Mejoras en el patio	2	2,15	\$29.000.000



Componente	Porcentaje FCI (%)	Porcentaje FCI Normalizado (%)	Costo estimado COP
Instalaciones de servicio	10	10,75	\$144.000.000
Ingeniería y supervisión	5	5,38	\$72.000.000
Honorario del contratista	2	2,15	\$29.000.000
Contingencia	8	8,60	\$115.000.000

\*Corresponde al valor del "Equipo de proceso" redondeado a la cifra superior más cercana.

### 6.3.7 Resultados de la evaluación financiera

En la Tabla 6-18, se observan los flujos de caja para los procesos estudiados de obtención de celulosa. Es importante resaltar que las inversiones en activos tangibles e intangibles para el periodo cero (0) son más altas para el proceso MCC-IL (-\$1.594.304 COP); sin embargo, son cercanas a la inversión inicial del proceso MCC-Ac (-\$1.519.304 COP) (Tabla 6-18).

En términos generales, el proceso MCC-IL empieza a tener utilidades al primer año o periodo luego de entrar en operación (se estimó con un inicio de operación al segundo mes del año 1 del 40%). El proceso convencional MCC-Ac comienza las utilidades libres a partir del segundo año, siendo este comportamiento más favorable para el proceso de síntesis de MCC alternativa que usa LI; así un flujo de caja libre positivo significa que se tiene margen para poder financiar correctamente la empresa o proceso productivo.

Las magnitudes de las utilidades del FC del proyecto difieren entre las dos alternativas porque el proceso MCC-Ac posee gastos operativos superiores a los del proceso MCC-IL, por lo que consume una mayor cantidad de materias primas, agua, energía y gas (Tabla 6-18 y Figura 6-20).

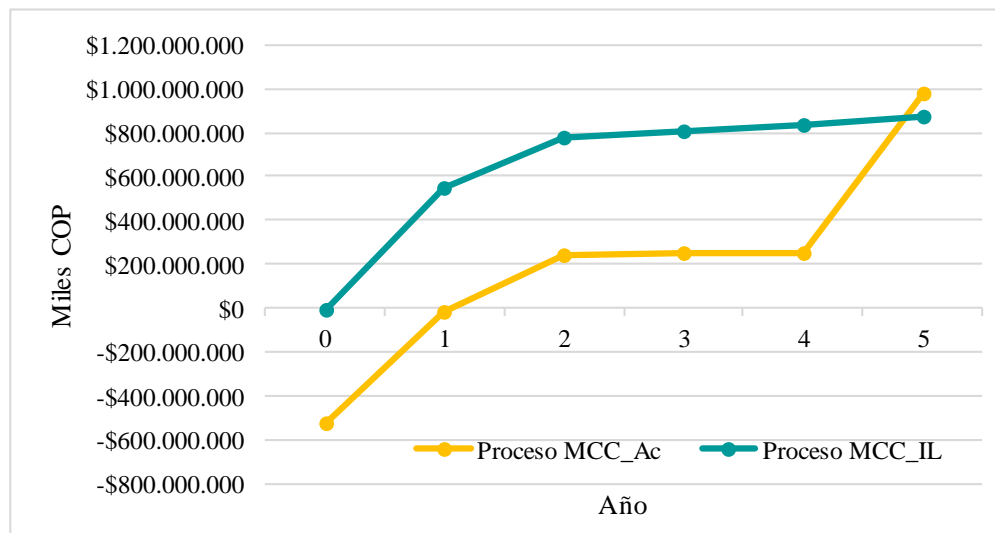
El comportamiento de ambos procesos es creciente; no obstante, como se puede observar en la Figura 6-20, el proceso MCC-IL tiene un comportamiento de utilidades estable hasta el último periodo analizado. En cambio, el proceso MCC-Ac en su último periodo, posee una utilidad mayor, la cual se puede asociar a que tiene un valor de salvamento superior al del proceso alternativo (\$681.956.855.425 COP (MCC-Ac) > \$3.050.891.667 COP (MCC-IL)).

Cabe señalar que el presente trabajo investigativo se desarrolla a nivel de prefactibilidad, que no tiene en cuenta la eficiencia en la productividad de los trabajadores ni contempla el diseño detallado de los procesos; por lo tanto, en un nivel de factibilidad se pueden modificar o ajustar el flujo de caja del proyecto, agregando mayores costos operativos y de inversión.

**Tabla 6-18. Flujo de caja libre (FC) de los procesos MCC-Ac y MCC-IL**

Año	Proceso MCC-Ac			Proceso MCC-IL		
	FC Operativo (Miles COP)	FC Inversión (Miles COP)	FC Proyecto (Miles COP)	FC Operativo (Miles COP)	FC Inversión (Miles COP)	FC Proyecto (Miles COP)
0	-\$1.519.304	-\$528.234.718	-\$529.754.022	-\$1.594.304	-\$3.804.006	-\$5.398.310
1	\$196.104.124	-\$218.971.576	-\$22.867.452	\$550.508.196	-\$918.640	\$549.589.556
2	\$279.230.702	-\$35.508.904	\$243.721.798	\$781.018.887	-\$148.969	\$780.869.918
3	\$283.641.652	-\$35.508.904	\$248.132.748	\$809.324.349	-\$148.969	\$809.175.380
4	\$289.090.115	-\$35.508.904	\$253.581.211	\$838.667.323	-\$148.969	\$838.518.355
5	\$295.613.777	\$681.948.455	\$977.562.233	\$869.085.498	\$3.050.892	\$872.136.389

**Figura 6-20. Comportamiento FC del proyecto para los procesos MCC-Ac y MCC-IL**



### 6.3.7.1 Indicadores financieros

A partir del FC de los proyectos comparados en iguales condiciones, para las cantidades de producción y los precios de venta de los productos, se determinaron indicadores financieros con el fin de evaluar la viabilidad del desarrollo de estas alternativas (MCC-Ac y MCC-IL), tanto de manera individual, como de forma comparativa.

#### 7.7.1.1.2. Indicadores financieros por proceso

En la Tabla 6-19 se puede observar que tanto el proceso convencional MCC-Ac y el proceso alternativo MCC-IL son viables financieramente de acuerdo a los criterios evaluados de cada uno de los indicadores financieros (numeral 5.4.8).

Cabe señalar que los valores de la TIR y la TIRM para el proceso MCC-IL, son altos, y ocasionan alerta sobre la realidad del indicador; pero en etapas evaluativas de factibilidad de proyectos se pueden ajustar las eficiencias operativas del proceso y tener cifras más confiables de este indicador. Así mismo, en el numeral 7.7.1.1.4 se realizó un análisis de la sensibilidad de estos dos indicadores variando el precio de venta de la MCC entre los procesos estudiados (MCC-Ac y MCC-IL).

**Tabla 6-19. Indicadores financieros por alternativas de proceso**

Indicador Financiero	Proceso MCC-Ac		Proceso MCC-IL	
VPN	\$617.371.588.852	<b>Financieramente factible</b>	\$2.861.768.438.283	<b>Financieramente factible</b>
TIR	34%	<b>Financieramente factible</b>	10.222%**	<b>Financieramente factible</b>
VAE	\$162.861.069.853	<b>Financieramente factible</b>	\$754.927.304.637	<b>Financieramente factible</b>
TIRM	28%	<b>Financieramente factible</b>	286%**	<b>Financieramente factible</b>
VFN	\$994.283.117.562	<b>Financieramente factible</b>	\$4.608.906.687.539	<b>Financieramente factible</b>
B/C	2,1	<b>Financieramente factible</b>	531,12	<b>Financieramente factible</b>

\*\* Valores a revisar con el análisis de sensibilidad del numeral 7.7.1.1.4.

#### 7.7.1.1.3. Comparación de viabilidades financieras entre procesos

Para comparar los valores de los indicadores financieros de cada proceso estudiado se deben contemplar los periodos de análisis y las inversiones iniciales. A continuación, se presentan los resultados luego del análisis.

- **Comparación VPN y VAE**

Comparando los indicadores VPN y VAE obtenidos de las alternativas MCC-Ac y MCC-IL se tiene que el proceso que utiliza LI presenta una mayor viabilidad financiera que el proceso convencional acetosolv (Tabla 6-20).

**Tabla 6-20. Comparación VPN y VAE**

Indicador Financiero	Alternativa 1: MCC-Ac		Alternativa 2: MCC-IL	Mejor Alternativa
VPN	\$617.371.588.852	<	\$2.861.768.438.283	<b>Mejor Alternativa MCC-IL</b>
VAE	\$162.861.069.853	<	\$754.927.304.637	<b>Mejor Alternativa MCC-IL</b>

- **Comparación B/C por método de inversión extra**

Como  $\Delta B/\Delta C$  es mayor que 1 ( $3,21 > 1$ ), esto significa que es mejor el proceso MCC-IL (Tabla 6-21).

**Tabla 6-21. Comparación B/C**

<b>B/C Incrementado</b>		
	<b>A: Proceso MCC-Ac</b>	<b>B: Proceso MCC-IL</b>
<b>Vp Ingresos</b>	1.167.986.626.439	2.867.166.748.409
<b>Vp Egresos</b>	- 550.615.037.587	- 5.398.310.126
<b>TIO</b>	<b>10%</b>	
	<b>Vp Ingresos (B-A)</b>	1.699.180.121.970
	<b>Vp Egresos (B-A)</b>	545.216.727.461
	<b><math>\Delta B/\Delta C</math> (B-A)</b>	<b>3,12</b>

- **Comparación TIRM por método de Inversión extra**

Como la TIRM comparativa fue mayor que la TIO ( $124\% > 10\%$ ), la alternativa más viable financieramente es la que utiliza en su proceso el LI EMIN[AoC] (MC\_IL) (Tabla 6-29).

**Tabla 6-22. Comparación TIRM**

<b>Periodo</b>	<b>Alternativa A: MCC-Ac</b>	<b>Alternativa B: MCC-IL</b>	<b>B-A</b>
0	-\$529.810.021.710	-\$5.398.310.126	\$524.411.711.584
1	-\$22.885.517.465	\$549.589.556.169	\$572.475.073.634
2	\$243.703.625.869	\$780.869.918.322	\$537.166.292.453
3	\$248.113.667.159	\$809.175.380.071	\$561.061.712.912
4	\$253.561.221.395	\$838.518.354.766	\$584.957.133.371
5	\$977.549.734.918	\$872.136.389.377	-\$105.413.345.541
<b>TIRM</b>	<b>28%</b>	<b>272%</b>	<b>124%</b>

Puede evidenciarse según los datos arrojados por los indicadores financieros, que el proceso MCC-IL es el que presenta una mayor viabilidad financiera; sin embargo, es necesario que en una etapa de factibilidad del proyecto se determinen las eficiencias operativas; además, realizar un cronograma mensual de puesta en marcha acorde con el contexto, donde se detalle claramente las actividades.

#### 7.7.1.1.4. Análisis de sensibilidad de los indicadores y viabilidades financieras entre procesos

Con el fin de revisar el comportamiento de los procesos estudiados (MCC-AC y MCC-IL), se desarrolló un análisis de sensibilidad de los indicadores financieros VPN, TIR y TIRM, variando el precio de venta inicial (Periodo 1) de la MCC, obteniendo los resultados que se describen a continuación.

- **Sensibilidad del VPN a la variación del precio de venta inicial de la MCC**

En la Tabla 6-23 se observan los resultados de la sensibilidad del VPN a la variación del precio de venta de la MCC.

Individualmente, se observa que en el proceso MCC-Ac, cuando el precio de venta de la MCC desciende a \$251.011 COP (39% del valor de referencia) el VPN es igual a cero (0) y el proyecto deja de ser financieramente viable o factible, debido a que deja de dar una ganancia por encima de lo esperado.

En el caso del proceso MCC-IL, el precio de venta de la MCC puede llegar hasta valores \$2.788 COP (disminución del 99,56% del valor de referencia), para que no sea factible esta alternativa. Lo anterior permite inferir que el proceso MCC-IL que utiliza solventes verdes, tiene una mejor respuesta a la variación de precios de venta del producto final, lo que lo hace más competitivo tanto en el mercado local como en el internacional.

De manera comparativa se tiene que para las variaciones entre el 100% y el 30% del precio de venta de la MCC, el proceso MCC-IL presenta mayor viabilidad que el proceso convencional MCC-Ac, por tener VPN más alto ante los escenarios calculados.

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Tabla 6-23. Sensibilidad del VPN en los procesos MCC-AC y MCC-IL

Porcentaje de Variación Precio de Venta (%)	Variación Precio de Venta (COP)	VPN proceso MCC-Ac (COP)		VPN proceso MCC-IL (COP)	
100%	\$638.582*	\$3.504.343.236.639	Financieramente factible	< \$5.748.740.086.070	Financieramente factible
90%	\$574.724	\$2.926.948.907.081	Financieramente factible	< \$5.171.345.756.512	Financieramente factible
80%	\$510.866	\$2.349.554.577.524	Financieramente factible	< \$4.593.951.426.955	Financieramente factible
70%	\$447.007	\$1.772.160.247.966	Financieramente factible	< \$4.016.557.097.398	Financieramente factible
60%	\$383.149	\$1.194.765.918.409	Financieramente factible	< \$3.439.162.767.840	Financieramente factible
50%	\$319.291**	\$617.371.588.852	Financieramente factible	< \$2.861.768.438.283	Financieramente factible
40%	\$255.433	\$39.977.259.294	Financieramente factible	< \$2.284.374.108.725	Financieramente factible
39% (Límite MCC-Ac)	\$251.011	\$0	Financieramente No factible		No determinado
30%	\$191.575	-\$611.064.819.363	Financieramente No factible	< \$1.706.979.779.168	Financieramente factible
20%	\$127.716		No determinado	\$1.129.585.449.611	Financieramente factible
10%	\$63.858		No determinado	\$552.191.120.053	Financieramente factible
5%	\$31.929		No determinado	\$263.493.955.275	Financieramente factible
1%	\$6.386		No determinado	\$32.536.223.452	Financieramente factible
0,50%	\$3.193		No determinado	\$3.666.506.974	Financieramente factible
0,44% (Límite MCC-IL)	\$2.788		No determinado	\$0	Financieramente No factible
0,25%	\$1.596		No determinado	-\$13.994.980.870	Financieramente No factible

\*Precio comercial de referencia para la MCC en Colombia.

\*\*El precio de venta mensual inicial de la MCC asumido en el estudio (50% del valor comercial determinado).

• **Sensibilidad de la TIR a la variación del precio de venta inicial de la MCC**

En la Tabla 6-24, se observa la sensibilidad de la TIR para el proceso MCC-Ac, en donde con una disminución del precio de venta de referencia de la MCC del 61,17% (\$246.936 COP), el proceso dejaría de ser viable financieramente.

**Tabla 6-24. Sensibilidad de la TIR en el proceso MCC-AC**

Porcentaje de Variación Precio de Venta (%)	Variación Precio de Venta (COP)	TIR proceso MCC-Ac (COP)	
<b>100%*</b>	<b>\$638.582*</b>	≈143%	<b>Financieramente factible</b>
90%	\$574.724	120%	<b>Financieramente factible</b>
80%	\$510.866	99%	<b>Financieramente factible</b>
70%	\$447.007	77%	<b>Financieramente factible</b>
60%	\$383.149	56%	<b>Financieramente factible</b>
<b>50%</b>	<b>\$319.291*</b>	<b>34%</b>	<b>Financieramente factible</b>
40%	\$255.433	12%	<b>Financieramente factible</b>
<b>38,83% (Límite TIR&lt;10%)</b>	<b>\$247.936</b>	<b>9%</b>	<b>Financieramente No factible</b>
30%	\$191.575		<b>No determinado</b>

\*Precio comercial de referencia para la MCC en Colombia.

\*\*El precio de venta mensual inicial de la MCC asumido en el estudio (50% del valor comercial determinado).

En el caso de la sensibilidad de la TIR para el proceso MCC-IL se tiene que este presenta porcentajes por encima del 10% para variaciones que representan una disminución del precio de venta de referencia en un 99,57% (\$2.765 COP). Lo anterior significa que el proceso MCC-IL es más competitivo en la variación del precio de venta del producto.

**Tabla 6-25 Sensibilidad de la TIR en el proceso MCC-IL**

Porcentaje de Variación Precio de Venta (%)	Variación Precio de Venta (COP)	TIR proceso MCC-IL (COP)	
<b>100%</b>	<b>\$638.582</b>	<b>20.506%</b>	<b>Financieramente factible</b>
90%	\$574.724	18.449%	<b>Financieramente factible</b>
80%	\$510.866	16.392%	<b>Financieramente factible</b>
70%	\$447.007	14.336%	<b>Financieramente factible</b>
60%	\$383.149	12.279%	<b>Financieramente factible</b>
<b>50%</b>	<b>\$319.291</b>	<b>10.222%</b>	<b>Financieramente factible</b>
40%	\$255.433	8.166%	<b>Financieramente factible</b>
30%	\$191.575	6.109%	<b>Financieramente factible</b>
20%	\$127.716	4.052%	<b>Financieramente factible</b>
10%	\$63.858	1.995%	<b>Financieramente factible</b>
5%	\$31.929	967%	<b>Financieramente factible</b>
1%	\$6.386	140%	<b>Financieramente factible</b>
0,50%	\$3.193	27%	<b>Financieramente factible</b>
<b>0,43% (Límite TIR&lt;10%)</b>	<b>\$2.765</b>	<b>9%</b>	<b>Financieramente No factible</b>

Porcentaje de Variación Precio de Venta (%)	Variación Precio de Venta (COP)	TIR proceso MCC-IL (COP)
0,25%	\$1.596	No determinado

\*Precio comercial de referencia para la MCC en Colombia.

\*\*El precio de venta mensual inicial de la MCC asumido en el estudio (50% del valor comercial determinado).

- **Sensibilidad de la TIRM a la variación del precio de venta inicial de la MCC**

Finalmente, en el análisis de sensibilidad de la TIRM se obtuvieron resultados similares a los observados para los indicadores financieros de VP y TIR, donde el proceso MCC-IL ofrece un rango más amplio de precio de venta de la MCC en comparación con el proceso MCC-IL.

Resaltando que el proceso MCC-Ac cuando alcanza el precio de venta límite, el cual se representa por una disminución del 61,20% (\$247.744 COP), deja de ser viable financieramente; lo que arroja valores para la TIRM inferiores al 10% como se observa en la Tabla 6-24.

*Tabla 6-26. Sensibilidad de la TIRM en el proceso MCC-AC*

Porcentaje de Variación Precio de Venta (%)	Variación Precio de Venta (COP)	TIRM proceso MCC-Ac (COP)
<b>100%</b>	<b>\$638.582*</b>	<b>65%</b> <b>Financieramente factible</b>
90%	\$574.724	60% <b>Financieramente factible</b>
80%	\$510.866	54% <b>Financieramente factible</b>
70%	\$447.007	48% <b>Financieramente factible</b>
60%	\$383.149	39% <b>Financieramente factible</b>
<b>50%</b>	<b>\$319.291**</b>	<b>28%</b> <b>Financieramente factible</b>
40%	\$255.433	11% <b>Financieramente factible</b>
<b>38,80 % (Límite TIRM&lt;10%)</b>	<b>\$247.744</b>	<b>9%</b> <b>Financieramente No factible</b>
30%	\$191.575	<b>-9%</b> <b>Financieramente No factible</b>

\*Precio comercial de referencia para la MCC en Colombia.

\*\*El precio de venta mensual inicial de la MCC asumido en el estudio (50% del valor comercial determinado).

En el caso del proceso MCC-IL, la TIRM es viable financieramente a reducciones del precio de venta del 99,57% (\$2.759 COP) como se observa en la Tabla 6-27, permitiendo concluir que es el proceso menos sensible a la variación del precio de venta inicial de la MCC, y provocando de esta manera una mayor competitividad en el mercado colombiano e internacional, donde se puede ofrecer el producto mucho más barato al valor de referencia determinado en el estudio de mercado (numeral 6.1.2.2).



**Tabla 6-27. Sensibilidad de la TIRM en el proceso MCC-IL**

Porcentaje de Variación Precio de Venta (%)	Variación Precio de Venta (COP)	TIRM proceso MCC-IL (COP)	
<b>100%</b>	<b>\$638.582*</b>	<b>344%</b>	<b>Financieramente factible</b>
90%	\$574.724	334%	Financieramente factible
80%	\$510.866	324%	Financieramente factible
70%	\$447.007	313%	Financieramente factible
60%	\$383.149	300%	Financieramente factible
<b>50%</b>	<b>\$319.291**</b>	<b>286%</b>	<b>Financieramente factible</b>
40%	\$255.433	269%	Financieramente factible
30%	\$191.575	248%	Financieramente factible
20%	\$127.716	221%	Financieramente factible
10%	\$63.858	178%	Financieramente factible
5%	\$31.929	140%	Financieramente factible
1%	\$6.386	62%	Financieramente factible
0,5%	\$3.193	22%	Financieramente factible
<b>0,43% (Límite MCC-IL)</b>	<b>\$2.759</b>	<b>9%</b>	<b>Financieramente No factible</b>
0,25%	\$1.596	<b>-51%</b>	<b>Financieramente No factible</b>

\*Precio comercial de referencia para la MCC en Colombia.

\*\*El precio de venta mensual inicial de la MCC asumido en el estudio (50% del valor comercial determinado).

## 6.4 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)

Conforme a la estructura planteada en la norma ISO 14040 sobre ACV, a continuación, se presentan los resultados de las diferentes fases de un ACV rápido, que comparará desde el punto de vista ambiental, dos procesos de síntesis de MCC; uno de los procesos corresponde al Acetosolv y el otro corresponde a una variación de este, donde se empleará como solvente alternativo el líquido iónico (LI) EMIM[AoC].

### 6.4.1 FASE 1: Definición objetivo y alcance del ACV

#### 6.4.1.1 Objetivo del ACV

El objetivo del estudio del siguiente ACV, corresponde a identificar de manera comparativa cuál de los procesos de síntesis de celulosa microcristalina (MCC) a escala industrial (denominados Acetosolv (MCC-Ac) y Síntesis de MCC con Líquido Iónico (MCC-IL)) genera mayores impactos ambientales potenciales.

Los resultados se difundirán a la comunidad académica y a la industria química de excipientes por medio del presente trabajo de investigación de la Maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Antioquia, con el fin de establecer un enfoque de ciclo de vida ambiental entre el proceso convencional Acetosolv que será tomado como línea base comparativa y el proceso alternativo que utiliza el líquido iónico EMIM[AoC] para la síntesis de MCC.

En este estudio de ACV no está previsto que sus resultados sean utilizados para una aseveración comparativa de divulgación pública, como lo establece la norma ISO 14040.

#### 6.4.1.2 Alcance del ACV

El enfoque del ACV corresponde de la “Puerta a la Puerta” o “Gate to Gate” y lo sitúa en la etapa del ciclo de vida correspondiente a la fabricación, o como es en el presente estudio la producción o síntesis de MCC.

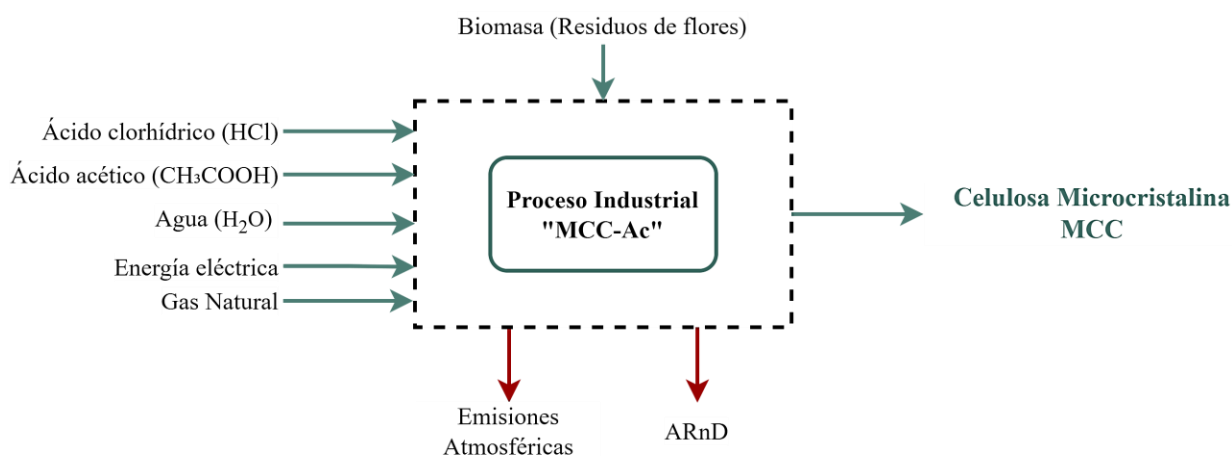
##### 7.7.1.1.5. Sistema de producto y su función

El ACV se conforma de dos sistemas de producto comparables correspondientes a:

- **Sistema de producto MCC-Ac:**

Este sistema de producto se caracteriza por tener entradas de sustancias químicas como el ácido clorhídrico y el ácido acético. También, tiene entradas de biomasa (residuos de flores), energía, gas natural y agua. Las salidas corresponden principalmente a las de MCC como producto analizado y a las emisiones atmosféricas generadas por el consumo energético de los equipos del proceso (salida al medio natural). Se contempla, además, una salida de Aguas Residuales No domésticas (ARnD), las cuales se manejan ambientalmente por medio de una planta de tratamiento (salida a la tecnosfera). Las ARnD corresponden a los efluentes de licor negro y subproductos en solución acuosa.

**Figura 6-21. Sistema de producto de síntesis de MCC empleando el método Acetosolv (MCC-Ac)**

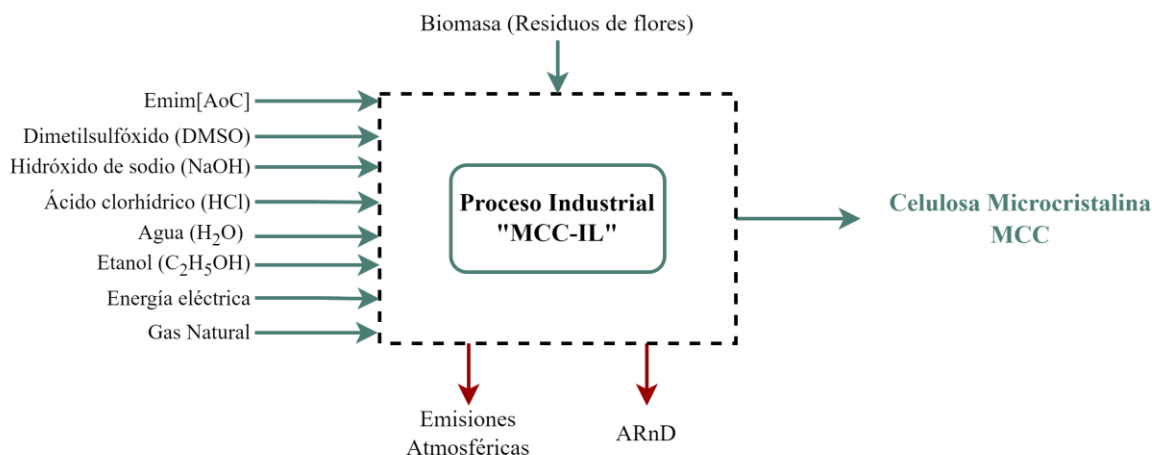


- **Sistema de producto MCC-IL:**

Este sistema de producto se caracteriza por tener entradas de sustancias químicas como el LI EMIM[AoC], dimetilsulóxido, hidróxido de sodio, ácido clorhídrico y etanol. También, tiene entradas de biomasa (residuos de flores), energía, gas natural y agua. Las salidas corresponden principalmente a las de MCC como producto analizado y a las emisiones atmosféricas generadas por el consumo energético de los equipos del proceso (salida al medio natural); igualmente, se

contempla una salida de Aguas Residuales No domésticas (ARnD), las cuales se manejan ambientalmente por medio de una planta de tratamiento (salida a la tecnosfera). Las ARnD corresponden a los efluentes de licor negro y subproductos en solución acuosa.

**Figura 6-22. Sistema de producto de síntesis de MCC empleando el método con líquidos iónicos (MCC-IL)**



La función de los sistemas de producto a comparar, corresponde a la síntesis de celulosa microcristalina (MCC) a una escala industrial. Se aclara que el sistema de producto denominado MCC-Ac corresponde al proceso Acetosolv el cual será el referente o punto de partida de comparación, y que el proceso denominado MCC-IL corresponde al proceso alternativo y que teóricamente presenta un mejor comportamiento ambiental con respecto a procesos industriales convencionales, pero que no ha sido comprobado en la realidad.

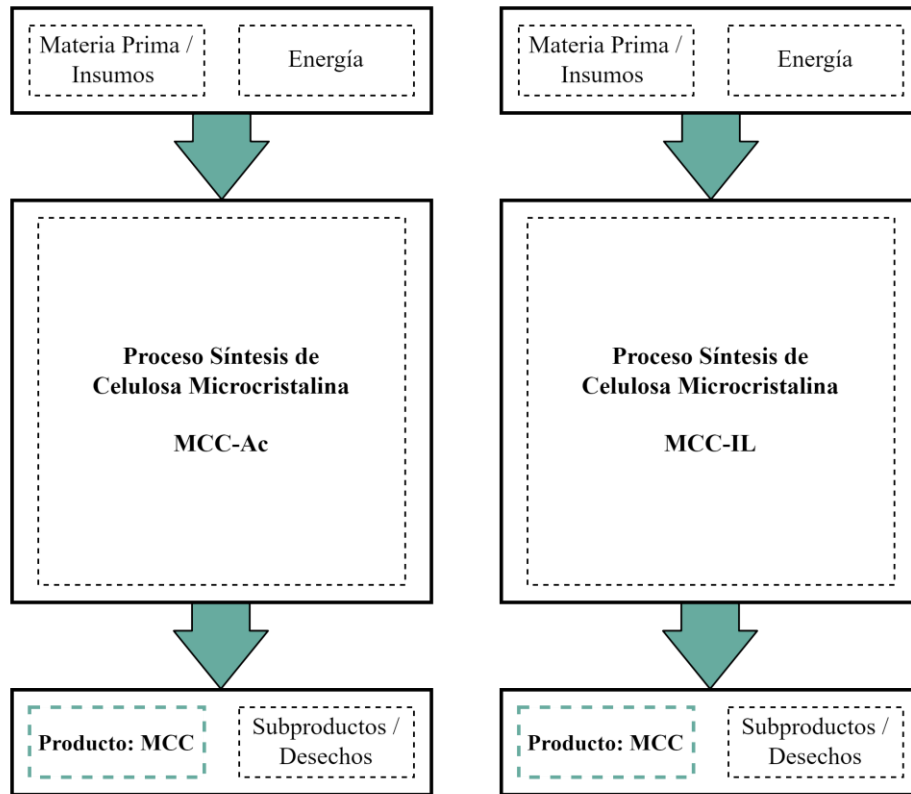
#### 7.7.1.1.6. Unidad funcional

La unidad funcional para los sistemas de producto MCC-Ac y MCC-IL corresponde a 300 t de MCC sintetizado para un flujo de materiales de 300 t/mes. Esta unidad funcional se estableció de acuerdo a la simulación realizada en el software ASPEN PLUS<sup>®</sup> para los procesos estudiados.

#### 7.7.1.1.7. Límites del sistema

Los sistemas de producto analizados (MCC-Ac y MCC-IL) comprenden únicamente la etapa de ciclo de vida correspondiente a la producción o síntesis de celulosa microcristalina, contemplando las materias primas, insumos y energía como entradas; así mismo, la MCC (producto), subproductos desechos (emisiones atmosféricas y líquidas (materiales en solución)), como salidas.

**Figura 6-23. Límite de los sistemas de producto estudiados**



No se contemplan las etapas de ciclo de vida correspondientes a obtención de materias primas, uso del producto terminado (MCC), ni fin o desecho del producto terminado; de igual forma tampoco se incluyen las actividades transversales de recepción, almacenamiento, distribución o transporte de materias primas o insumos en estas etapas.

Adicionalmente, en los límites de los sistemas a comparar, no se contemplaron las máquinas y equipos de los procesos, ni los materiales ni las actividades de fabricación o instalación de estas. Tampoco se contemplaron los procesos o actividades propias del funcionamiento de una instalación industrial, como es el caso del consumo energético por luminarias y equipos de cómputo, consumo de agua por instalaciones sanitarias, ni el manejo interno en la gestión de los residuos sólidos provenientes de la mano de obra del sistema de producto simulado.

#### 7.7.1.1.8. Metodología de impacto (EICV) e impactos a evaluar

La evaluación de impacto se desarrolló con el software SimaPro<sup>®</sup> 9.2.0.22, mediante la metodología: *ReCiPe 2016 v1.1 midpoint method, Egalitarian version*. Con factores de normalización global para el año de referencia 2010 y que están integrados en la base de datos. Se empleó la herramienta *Comparar para seleccionar el método* (Figura 6-24).

La evaluación de impactos se realizó para un flujo de producto correspondiente a 300 t al mes de producción de MCC. Durante la evaluación comparativa se excluyó del cálculo los procesos de infraestructura y de emisiones a largo plazo.

Figura 6-24. Selección del método de evaluación de impactos

General | Grupos de análisis | Opciones para gráfico

Nombre  
Comentario

Función de cálculo

Red  
 Árbol  
 Analizar  
 Comparar

Método  
ReCiPe 2016 Midpoint (E) V1.04 / World (2010) E

Producto	Cantidad	Ud.	Proyecto	Comentario
MCC_Ac (CO)	300	ton	_ACV_UdeA	UF para una producción de un mes
MCC_IL (CO)	300	ton	_ACV_UdeA	UF para una producción de un mes

Librería actual | Sufijo

Sustituyendo librería | Sufijo

Interruptores

Excluir procesos de infraestructura  
 Excluir emisiones a largo plazo

Faculty UDEA AMBIENTAL 001 | 9.2.0.2 Faculty

#### 7.7.1.1.9. Requisitos relativos a los datos

La obtención de los datos y cuantificación de los procesos unitarios de los sistemas de producto definidos (MCC-Ac y MCC-IL) fue a través de la herramienta *utility* disponible en Aspen Plus®, software empleado para la simulación a escala industrial de la síntesis de celulosa.

Adicionalmente, se establecieron las siguientes condiciones:

- No se estableció un límite geográfico para la utilización de datos; sin embargo, buscó principalmente información nacional. No obstante, dada la dificultad de obtener algunos valores a escala local, se utilizaron datos disponibles a nivel global de la base de datos Ecoinvent disponible en el software SimaPro.
- Para la mayoría de procesos unitarios de los sistemas de producto (MCC-Ac y MCC-IL), se emplearon los datos arrojados por la simulación de los procesos el Aspen Plus®; pese a esto, para el caso del líquido iónico EMIM[AoC], fue necesario crear una materia prima en el software SimaPro® a partir de información contenida en artículos de investigación que describieran los componentes principales de este solvente como se describe en el numeral 6.4.2.
- Cuando fue necesario realizar suposiciones, estas se fundamentaron en estudios similares que avalaran cada decisión.

#### 7.7.1.1.10. Suposiciones

- En los sistemas de producto de síntesis de celulosa no se contemplaron para las entradas y salidas de los inventarios, los insumos correspondientes al empaque del producto terminado, suponiendo que este proceso unitario es el mismo para los dos procesos en comparación y no ocasionaría una diferencia relevante en el análisis.
- Se utiliza como entrada biomasa lignocelulósica al sistema de producto MCC-IL, el material llamado “*Biomasa*”, presente en la base de datos Ecoinvent, debido a que no se cuenta con datos que representen exactamente la biomasa proveniente de residuos agroindustriales de flores, el elemento seleccionado es el más parecido.
- La lignina y hemicelulosa no se considera un co-producto en este ACV, sino una salida perteneciente al ARnD, dado que la simulación en ASPEN PLUS® no contempla un tratamiento industrial de las salidas en solución.
- Para el sistema de producto MCC-IL se tiene una salida de cloruro de sodio (NaCl), la cual se puede considerar como un co-producto que se puede usar en otro proceso industrial; pero en el alcance y objetivo del ACV no se contempló esta salida ya que no era representativa en la evaluación ambiental.

#### 6.4.2 FASE 2: Análisis del Inventario (ICV)

El análisis del inventario que se realizó para la comparación de los sistemas de producto definidos con anterioridad, se obtuvo a partir de las simulaciones realizadas con el software ASPEN PLUS® y descritas en el numeral 6.2.1.

A continuación, se presentan en la Tabla 6-28 y la Tabla 6-29, los valores de entradas y salidas (Outputs - Inputs) a los sistemas de producto MCC-Ac y MCC-IL respectivamente, definidos en el alcance.

**Tabla 6-28. Entradas y salidas al proceso de referencia MCC-Ac**

<b>MCC-Ac</b>			
<b>Entrada</b>			
<b>Nombre Sustancia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	
Biomasa (Residuos flores)	677,51	t/mes	
Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH)	16,07	t/mes	
Ácido clorhídrico (HCl)	13,55	t/mes	
Agua (H <sub>2</sub> O)	253.430,72	t/mes	
Combustible (Gas Natural CH <sub>4</sub> )	7.339.370,16	m <sup>3</sup> /mes	
Energía eléctrica	23.884,71	kW/mes	
Energía calor (vapor)	64.555.978,61	kW/mes	
<b>Salida</b>			
<b>Nombre Sustancia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	
<b>Celulosa Microcristalina (MCC)</b>	<b>300,58</b>	<b>t/mes</b>	
Agua Residual No Domestica (ARnD) para tratar	3.145,32	t/mes	
Emisión atmosférica dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	24.616,91	t/mes	

**Tabla 6-29. Entradas y Salidas al proceso alternativo MCC-IL**

<b>MCC-IL</b>		
<b>Entrada</b>		
<b>Nombre Sustancia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Biomasa (Residuos flores)	748,48	t/mes
EMIM[AoC] (LI)	0,004	t/mes
Dimetilsulfóxido (DMSO)	0,07	t/mes
Hidróxido de sodio (NaOH)	0,68	t/mes
Ácido clorhídrico (HCl)	0,44	t/mes
Etanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	3,55	t/mes
Agua (H <sub>2</sub> O)	2.160,37	t/mes
Combustible (Gas Natural CH <sub>4</sub> )	33.893,85	m <sup>3</sup> /mes
Energía eléctrica	3.852,00	kW/mes
Energía calor (vapor)	210.441,28	kW/mes
<b>Salida</b>		
<b>Nombre Sustancia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
<b>Celulosa Microcristalina (MCC)</b>	<b>308,94</b>	<b>t/mes</b>
Cloruro de Sodio (NaCl)	0,69	t/mes
Agua Residual No Domestica (ARnD) para tratar	478,875	t/mes
Emisión atmosférica dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	105,70	t/mes

Para poder evaluar los impactos del sistema de producto MCC-IL era necesario ingresar como entrada el LI EMIM[AoC]; no obstante, las bases de datos con las que cuenta el software SimaPro<sup>®</sup> no tenían esta sustancia. Por este motivo se tomó como referencia el árbol químico del EMIM[AoC] descrito por Avery (2016), las entradas están asociadas para una salida de 1kg del LI producido en Alemania (Tabla 6-30).

**Tabla 6-30. Simulación de la producción del EMIM[AoC]**

<b>Producción EMIM[AoC]*</b>					
<b>Entrada</b>			<b>Salida</b>		
<b>Nombre Sustancia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Nombre Sustancia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Etilenglicol	0,45	kg			
Amoníaco	0,12	kg			
Formaldehído	0,21	kg			
Metilamina	0,22	kg			
Ácido sulfúrico	0,66	kg			
Etileno	0,20	kg	<b>EMIM[AoC]</b>	<b>1,00</b>	<b>kg</b>
Ácido clorhídrico	0,26	kg			
Ácido acético	0,40	kg			
Carbonato de calcio	0,34	kg			
Electricidad	4,33	MJ			
Energía térmica	6,35	MJ			

Fuente. (Avery, 2016).

### 6.4.3 FASE 3: Evaluación del impacto ambiental (EICV)

En la Tabla 6-31 se resumen los resultados de la evaluación de las dieciocho (18) categorías de impacto, para los sistemas de producto MCC-Ac y MCC-IL.

*Tabla 6-31. Análisis caracterización de impacto*

Categoría de impacto	Unidad	MCC-Ac	MCC-IL
Calentamiento global	kg CO <sub>2</sub> eq	41.283.945,67	153.683,44
Agotamiento del ozono estratosférico	kg CFC11 eq	13,60	0,04
Radiación ionizante	kBq CO-60 eq	250.161,46	861,91
Formación de ozono, Salud humana	kg NO <sub>x</sub> eq	37.806,25	120,67
Formación de material particulado	kg PM <sub>2.5</sub> eq	29.594,60	106,09
Formación de ozono, ecosistemas terrestres	kg NO <sub>x</sub> eq	38.986,41	126,97
Acidificación terrestre	kg SO <sub>2</sub> eq	90.965,36	318,09
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	362,71	2,74
Eutrofización marina	kg N eq	37,73	-0,92
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	18.167.674,69	83.793,97
Ecotoxicidad del agua dulce	kg 1,4-DCB	24.213,52	103,39
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DCB	219.795.888,83	955.098,74
Toxicidad humana (cancerígena)	kg 1,4-DCB	4.319.419,32	19.735,76
Toxicidad humana (no cancerígena)	kg 1,4-DCB	245.781.323,58	1.108.119,58
Uso del suelo	m <sup>2</sup> a crop eq	60.233,50	336,60
Escasez de recursos minerales	kg Cu eq	15.781,91	99,67
Escasez de recursos fósiles	kg oil eq	10.951.578,52	48.505,48
Consumo de agua	m <sup>3</sup>	470.177,09	3.376,08

### 6.4.4 FASE 4: Interpretación

Comparando de manera individual cada una de las categorías de impacto de punto medio evaluadas, se identifica que todas presentan mayores concentraciones en el proceso MCC-Ac. Lo anterior se debe principalmente a que el sistema de producto convencional requiere de una demanda superior de recursos naturales y materias primas, en comparación con el proceso alternativo MCC-IL, para la obtención mensual de 300 t de MCC (Tabla 6-31).

De manera puntual, para la categoría de impacto de Ecotoxicidad marina, presenta valores de 219.795.888,828 kg 1,4-DCB para el sistema MCC-Ac y valores de 955.098,74 kg 1,4-DCB en el sistema MCC-IL; lo que refleja que si se el proyecto se localizará cerca al mar el proceso convencional impactaría de mayor manera que el sistema alternativo.

Con relación a la categoría de impacto de toxicidad humana (cancerígena), que se relaciona con aumento del riesgo de incidencia de enfermedades cancerosas por ingestión e inhalación de sustancias tóxicas. La contribución a este impacto se debe principalmente a los requerimientos de gas natural (45,0%) y consumo de energía eléctrica (39,7%). Siendo el proceso MCC-Ac el que mayor impacto generaría en comparación con el proceso MCC-IL.



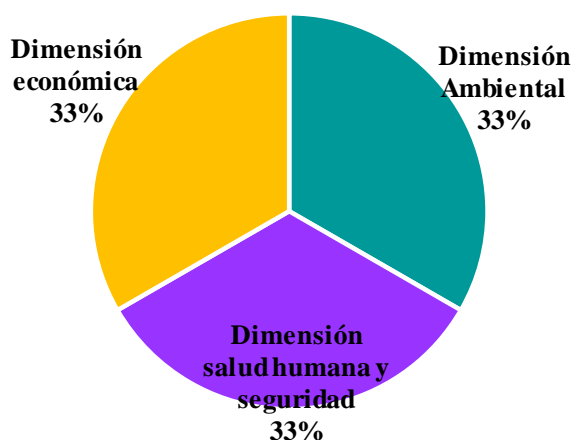
Debido a que el objetivo del presente ACV es netamente enfocado a identificar cuál de los dos sistemas de producto es el que presenta una mayor viabilidad ambiental, no se requiere de mayor profundidad en el análisis e interpretación de resultados y se concluye que el proceso MCC-IL presenta menor impacto en las 18 categorías analizadas.

## 6.5 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD

El análisis de sostenibilidad se realizó al igual que el análisis de localización del presente estudio por medio del método multicriterio AHP, utilizando el software Total Decision<sup>®</sup>. En este sentido y guardando coherencia con el estado del arte, el método AHP es la herramienta más utilizada en evaluación integral de la sostenibilidad (Bolis et al., 2017; Diaz-Balteiro et al., 2017; Sierra et al., 2018).

En la Figura 6-16, se muestra la importancia asignada para cada uno de los criterios evaluados y ponderados en el modelo AHP; por lo tanto, para guardar equilibrio entre las dimensiones de la sostenibilidad se decidió establecer pesos iguales de 33,33%.

*Figura 6-25. Análisis de las dimensiones de sostenibilidad*



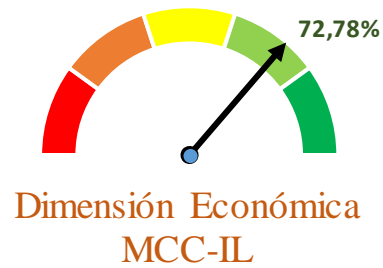
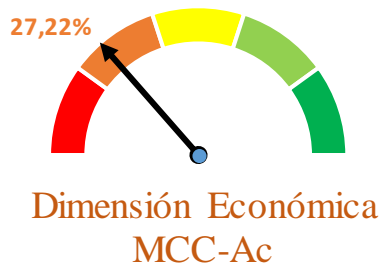
A continuación, en la Figura 6-26, se esbozan los resultados del modelo AHP para las tres dimensiones de la sostenibilidad (criterios nivel 1 del modelo). Así mismo se puede ver gráficamente el resumen de los resultados de los estudios económicos y de ACV de manera comparativa.

- a) Desde la dimensión económica el proceso MCC-IL es más sostenible con un 72,78%, que el proceso convencional MCC-Ac con un 27,22%, porque presenta comparativamente mejores indicadores financieros. Cabe aclarar que según la evaluación financiera (numeral 6.3.7) ambas alternativas de estudio son viables, pero comparativamente el proceso alternativo con LI presenta mejores características.
- b) Desde la dimensión ambiental el proceso MCC-IL es más sostenible con un 94,16%, que el proceso convencional MCC-Ac con un 5,84%. Este resultado se explica debido a que la cantidad de materias primas que requiere el proceso acetosolv son muy elevadas con respecto al proceso de con EMIM[AoC], esto genera mayores impactos ambientales por agotamiento de recursos naturales y toxicidad de ecosistemas como se muestra en el ACV.

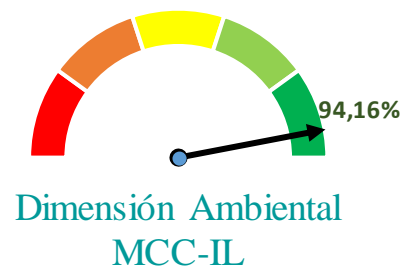
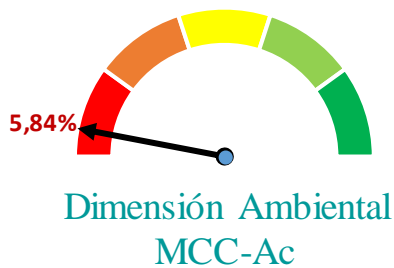
c) Con respecto a la dimensión de salud humana y seguridad social, el proceso MCC-IL es más sostenible en un 86,25% que el proceso convencional MCC-Ac con un 13,75%; debido a que la cantidad de materias primas que requiere el proceso acetosolv son muy elevadas con respecto al proceso de con EMIM[AoC]. Específicamente los requerimientos de energía eléctrica y gas natural, así mismo las salidas por emisiones de CO<sub>2</sub> son superiores, y ocasionan potencialmente el aumento en el riesgo de incidencia de enfermedades no cancerosas y cancerosas.

Figura 6-26. Dimensiones de la sostenibilidad evaluadas

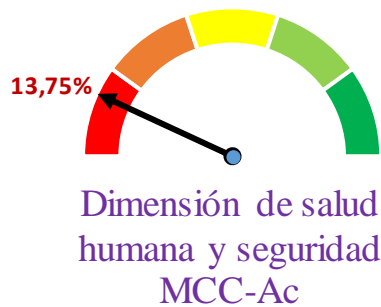
a)



b)

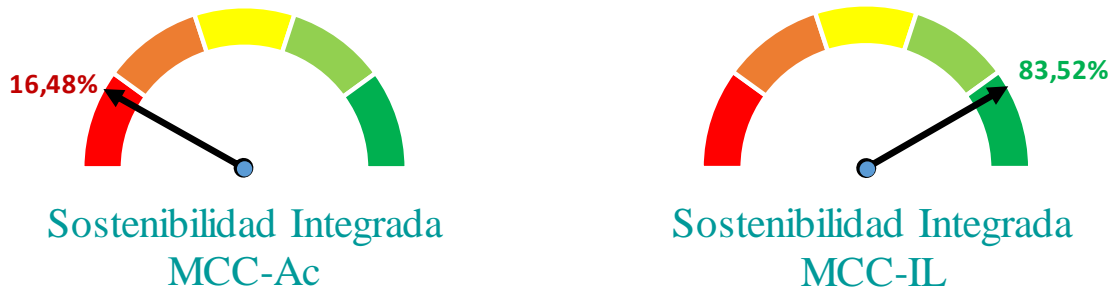


c)



Como resultado final del método AHP, se tiene que la Alternativa MCC-IL que emplea el LI EMIM[AoC] en la síntesis de celulosa, se constituye en el proceso industrial estudiado con mayor sostenibilidad (83,52% Muy Sostenible) en comparación con la alternativa MCC-Ac (16,48% No Sostenible) que se basa en el proceso acetosolv. La ratio de inconsistencia del objetivo del análisis multicriterio fue de 1,42% < 10,00%, lo que indica evidencia de un juicio informado en la evaluación.

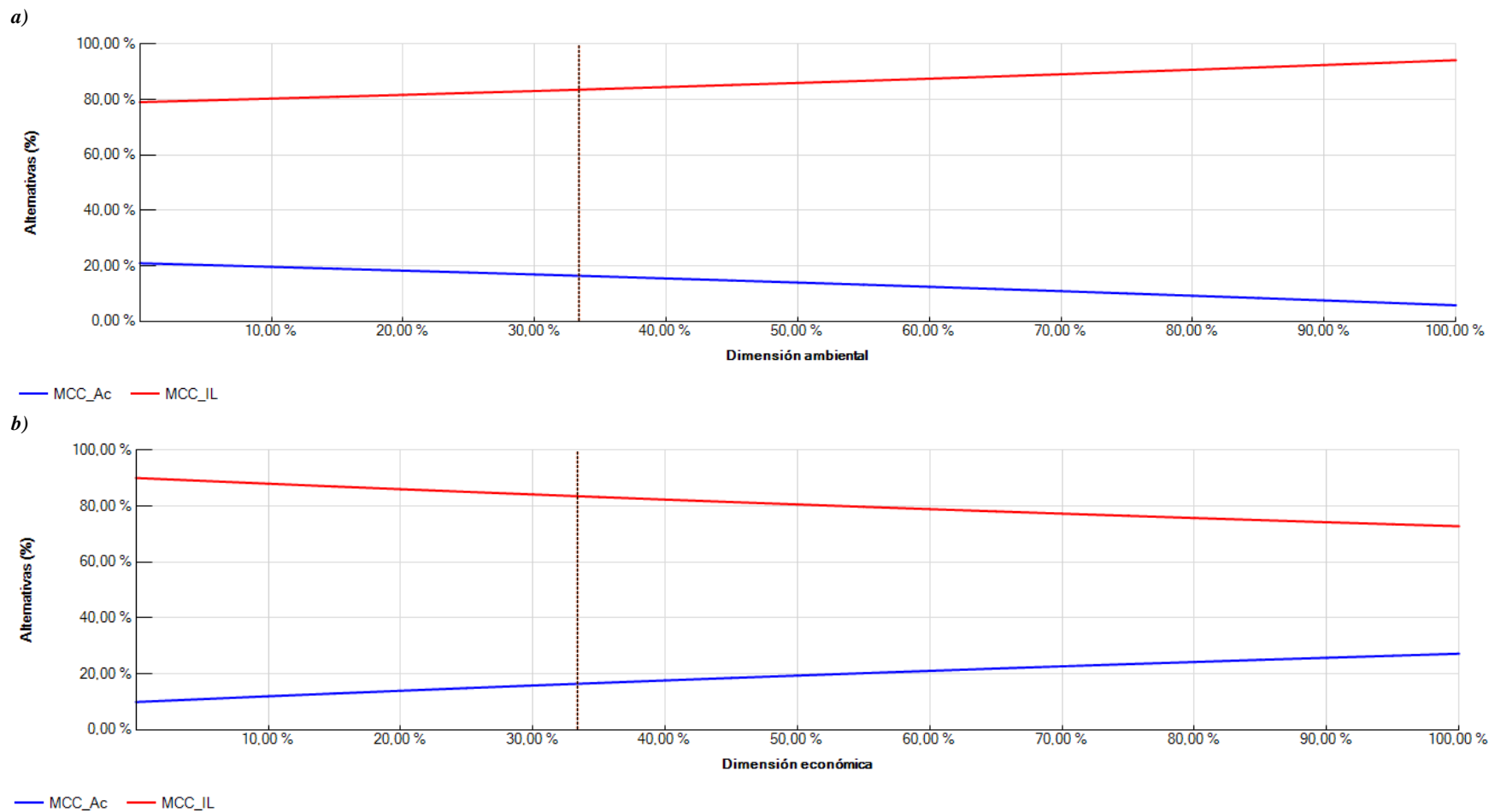
*Figura 6-27. Sostenibilidad integrada de los procesos MCC-Ac y MCC-IL*



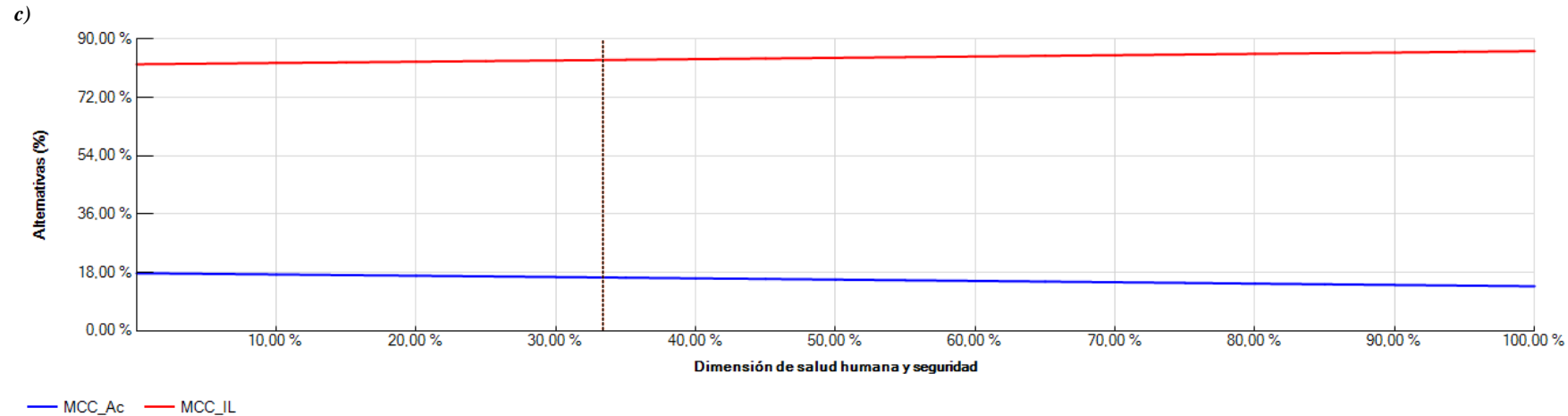
### 6.5.1 Análisis de sensibilidad de criterios y alternativas

Con el fin de evaluar la variabilidad en la priorización de la alternativa MCC-IL con respecto a la alternativa MCC-Ac, por medio del software Total Decision<sup>®</sup>, se realizó un análisis de sensibilidad como se muestra en la Figura 6-28, donde se verificó que en el caso de generar variaciones en los resultados del análisis de sostenibilidad cambiando el peso de importancia entre las dimensiones ambiental, económica y de salud humana y seguridad; en todos los escenarios siempre es más sostenible el procesos de síntesis de MCC que utiliza el LI EMIM[AoC].

Figura 6-28. Sensibilidad criterios de evaluación modelo AHP para análisis de sostenibilidad



EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL



a) Dimensión ambiental, b) Dimensión económica, c) Dimensión de salud humana y seguridad

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el cumplimiento del primer objetivo de este trabajo de investigación, se determina que, tanto el proceso acetosolv (MCC-Ac) como el proceso con el LI EMIM[AoC] (MCC-IL) son viables en el contexto técnico y económico; sin embargo, los indicadores financieros TIRM, VPN, VAE y B/C evaluados comparativamente muestran que la alternativa MCC-IL es la mejor opción. Esto se debe a que los costos operativos y la demanda de materias primas son inferiores a los calculados para el proceso convencional acetosolv, haciendo una mejor proyección en el tiempo para el proceso alternativo con LI.

Con respecto al segundo objetivo, en el ámbito ambiental y de salud humana, se identifica que el proceso convencional para la obtención de MCC denominado acetosolv, genera mayores cargas en cada una de las dieciocho (18) categorías de impactos potenciales, en comparación con el proceso alternativo que utiliza el LI EMIM[AoC] como solvente verde. Esto se debe principalmente a que el proceso MCC-IL necesita menos insumos, consumo de energía, gas y agua en su flujo de materiales mensuales; además, las salidas de ARnD y de emisiones de CO<sub>2</sub> son inferiores que las del proceso MCC-Ac.

Cumpliendo el tercer objetivo planteado en la investigación, se analizó que es sostenible el desarrollo de un proceso a escala industrial para la obtención de celulosa micro cristalina (MCC), a partir del uso del líquido iónico LI: EMIM[AoC] como solvente verde, en comparación con el proceso convencional acetosolv; de esta manera se verifica la hipótesis planteada en el presente trabajo de investigación.

Se evidencia que la utilización de las metodologías de simulación de procesos químicos por medio del software ASPEN PLUS<sup>®</sup> proporcionan información suficiente para determinar costos y evaluar financieramente proyectos industriales en etapa de pre-factibilidad. Así mismo, se constituyen en una herramienta importante para determinar los flujos de entrada y salida en la fase de análisis de inventario de un ACV.

El análisis de la sostenibilidad de un proyecto es complejo, debido a que son múltiples los factores que se ven afectados durante la formulación y evaluación de estos, y así su viabilidad es imposible de predecir por un evaluador. Por este motivo es necesario abordar el problema a través de métodos multicriterio como el AHP, el cual permite durante la formulación y evaluación de proyectos tomar decisiones encaminadas a innovar con respecto a cambios tecnológicos o de materias primas frente a procesos convencionales.

Los procesos metodológicos empleados en este trabajo de investigación pueden ser replicados en otro tipo de proyectos de desarrollo o inversión en el sector industrial, para evaluar su viabilidad desde un enfoque de sostenibilidad en la etapa de pre-factibilidad. Adicionalmente, la metodología utilizada es iterativa, lo que permite que se actualicen los indicadores o variables empleadas para futuros análisis.

La principal oportunidad de mejora en el proceso analizado, consiste en optimizar los procesos productivos por medio de pruebas piloto para tener datos reales de rendimiento, eficiencia y operatividad de trabajadores, y tener claro la capacidad productiva real de una planta de síntesis MCC, la cual en una etapa de factibilidad de proyectos puede ocasionar cambios en los costos que

dependen de la producción; además de cambiar los costos de mano de obra y así ajustar los indicadores de evaluación financiera.

Una vez identificado el proceso industrial de síntesis de MCC más sostenible, se puede desarrollar un ACV que contemple las demás etapas del ciclo de vida del producto ampliando el alcance y los objetivos del análisis; desde la adquisición y transporte de materias primas, pasando por el proceso productivo, el uso de la MCC y disposición final.

## 8 REFERENCIAS

- Aarseth, W., Ahola, T., Aaltonen, K., Økland, A., & Andersen, B. (2017). Project sustainability strategies: A systematic literature review. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1071–1083. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.11.006>
- Abu-Thabit, N. Y., Judeh, A. A., Hakeem, A. S., Ul-Hamid, A., Umar, Y., & Ahmad, A. (2020). Isolation and characterization of microcrystalline cellulose from date seeds (*Phoenix dactylifera* L.). *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 730–739. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.255>
- Actualicese.com. (2021, 29 enero). TRM promedio para 2020 | Actualicese. Actualicese |. Recuperado 3 de abril de 2021, de <https://actualicese.com/tasa-representativa-del-mercado-promedio-para-2020/>
- Alpízar, M. (2018). Sector Farmacéutico en Colombia – Oportunidades de comercialización [en línea]. Recuperado de <http://servicios.procomer.go.cr/aplicacion/civ/documentos/Sector%20Farmaceutico%20en%20Colombia%20FINAL.pdf>
- Amado Alviz, P. L., & Alvarez, A. J. (2017). Comparative life cycle assessment of the use of an ionic liquid ([Bmim]Br) versus a volatile organic solvent in the production of acetylsalicylic acid. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1614–1624. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.107>
- Amado, L. (2013). CAPEX and OPEX Expenditures. *Reservoir Exploration and Appraisal*, 39–42. doi:10.1016/b978-1-85617-853-2.00009-0
- Aniya, V., De, D., Singh, A., & Satyavathi, B. (2018). Design and operation of extractive distillation systems using different class of entrainers for the production of fuel grade tert- butyl Alcohol: A techno-economic assessment. *Energy*, 144, 1013–1025. doi:10.1016/j.energy.2017.12.099
- Araújo, G. C. De, & Mendonça, P. S. M. (2009). Análise do processo de implantação das normas de sustentabilidade empresarial: um estudo de caso em uma agroindústria frigorífica de bovinos. *RAM. Revista de Administração Mackenzie (Online)*, 10(2), 31–56. <https://doi.org/10.1590/S1678-69712009000200003>
- Area, M. C. (2008). Panorama de la industria de celulosa y papel en Iberoamérica 2008. (M. C. AREA, Ed.). Red Iberoamericana de Docencia e Investigación en Celulosa y Papel. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/301221573%0APanorama>
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia - ANDI. (2018). Boletín diciembre de 2018 - Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón. [en línea]. Recuperado de [http://www.andi.com.co/Uploads/B-Diciembre\\_636854709564079988.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/B-Diciembre_636854709564079988.pdf)
- Avery, G. M. (2016). *A Life Cycle Assessment of Ionic Liquid Pretreatment for Lignocellulosic Biomass* (Master thesis). The University of Toledo, Spain.
- Baca, G. (2010). Evaluación de Proyectos. (M. Toledo, P. Roig, Ma. Rocha, M. Zapata, & Z. García, Eds.) (6a ed.). México: McGraw-Hill.



- Baghel, R. S., Reddy, C. R. K., & Singh, R. P. (2021). Seaweed-based cellulose: Applications, and future perspectives. *Carbohydrate Polymers*, 267(March), 118241. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118241>
- Battista, O. A., & Smith, P. A. (1962). Microcrystalline Cellulose. *Industrial & Engineering Chemistry*, 54(9), 20–29. doi:10.1021/ie50633a003
- Baumgartner, R. J., & Ebner, D. (2010). Corporate sustainability strategies: sustainability profiles and maturity levels. *Sustainable Development*, 18(2), 76–89. doi:10.1002/sd.447
- Benvenuti, L., Zielinski, A. A. F., & Ferreira, S. R. S. (2019). Which is the best food emerging solvent: IL, DES or NADES? *Trends in Food Science & Technology*. doi:10.1016/j.tifs.2019.06.003
- Bergquist, A.-K., & Keskitalo, E. C. H. (2016). Regulation versus deregulation. Policy divergence between Swedish forestry and the Swedish pulp and paper industry after the 1990s. *Forest Policy and Economics*, 73, 10–17. doi:10.1016/j.forpol.2016.07.003
- Bhaskar Reddy, A. V., Moniruzzaman, M., & Goto, M. (2019). Ionic Liquids for Pretreatment of Biomass. *Comprehensive Biotechnology*, 190–198. doi:10.1016/b978-0-444-64046-8.00121-x
- Bhat, A. H., Khan, I., Usmani, M. A., Umapathi, R., & Al-Kindy, S. M. Z. (2018). Cellulose an ageless renewable green nanomaterial for medical applications: An overview of ionic liquids in extraction, separation and dissolution of cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.12.190
- Bjørn, A., Owsianiak, M., Molin, C., & Hauschild, M. Z. (2017). LCA History. *Life Cycle Assessment*, 17–30. doi:10.1007/978-3-319-56475-3\_3
- Bolis, I., Morioka, S. N., & Sznclwar, L. I. (2017). Are we making decisions in a sustainable way? A comprehensive literature review about rationalities for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 145, 310–322. doi:10.1016/j.jclepro.2017.01.025
- Bonem, J. M. (2018). Project Evaluation Using CAPEX and OPEX Inputs. *Chemical Projects Scale Up*, 107–123. doi:10.1016/b978-0-12-813610-2.00009-x
- Bozell, J. J., & Patel, M. K. (2004). *Feedstocks For Future: Renewables for the production for chemicals and materials*. In A. Editors (Ed.), ACS Symposium Series 921 (pp. 13–26).
- Brundtland, G. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oxford paperbacks. <https://doi.org/10.2307/2621529>
- Castro-Montoya, A. J., & Jiménez - Gutiérrez, A. (2012). *Integrated Biorefineries design, analysis and optimization*. In P. R. Stuart & M. El-Halwagi (Eds.), *Integrated Biorefineries design, analysis and optimization* (p. 873).
- Chu, Y., Zhang, X., Hillestad, M., & He, X. (2018). Computational prediction of cellulose solubilities in ionic liquids based on COSMO-RS. *Fluid Phase Equilibria*, 475, 25–36. doi:10.1016/j.fluid.2018.07.026
- Corona, B., & San Miguel, G. (2018). Life cycle sustainability analysis applied to an innovative configuration of concentrated solar power. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. doi:10.1007/s11367-018-1568-z

- Coscia, M. G., Bhardwaj, J., Singh, N., Santonicola, M. G., Richardson, R., Thakur, V. K., & Rahatekar, S. (2018). Manufacturing & characterization of regenerated cellulose/curcumin based sustainable composites fibers spun from environmentally benign solvents. *Industrial Crops and Products*, 111(February 2017), 536–543. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.041>
- CYPE Ingenieros, S.A. (2021). Precio en Colombia de m3 de Transporte de residuos vegetales con camión. Generador de precios de la construcción. CYPE Ingenieros, S.A. Generador de Precios-Colombia. Recuperado 5 de junio de 2021, de [http://www.colombia.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Gestion\\_de\\_residuos/Gestion\\_de\\_residuos\\_vegetales/Transporte\\_de\\_residuos\\_vegetales/GVA020\\_Transporte\\_de\\_residuos\\_vegetales\\_co\\_0\\_0\\_0\\_5.html](http://www.colombia.generadordeprecios.info/obra_nueva/Gestion_de_residuos/Gestion_de_residuos_vegetales/Transporte_de_residuos_vegetales/GVA020_Transporte_de_residuos_vegetales_co_0_0_0_5.html)
- Dahl, O., Parviainen, K., and Vanhatalo, K. (2013). “Use of pure cellulose in increasing the energy content of fodder,” WO 2013/132159 A1, Patent application PCT/FI2013/050250.
- Dahl, O., Vanhatalo, K., and Parviainen, K. (2011b).” A novel method to produce microcellulose,” WO 2011/154600 A2, Patent application PCT/FI2011/050526.
- Dahl, O., Vanhatalo, K., Parviainen, K., and Svedman, M. (2011a).” A novel method to produce microcellulose,” WO 2011/154601 A1, Patent application PCT/FI2011/050527.
- Daneshpour, H. (2015). Integrating Sustainability into Management of Project. *International Journal of Environmental Science and Development*, 6(4), 321–325. <https://doi.org/10.7763/IJESD.2015.V6.611>
- Datawheel. (2021). Cellulose, 3912 (HARMONIZED SYSTEM 1992 FOR 4-DIGIT). The Observatory of Economic Complexity (OEC). Recuperado 15 de septiembre de 2021, de <https://oec.world/en/profile/hs92/cellulose>
- de Faria, D. R. G., de Medeiros, J. L., & Araújo, O. Q. F. (2021). Sustainability assessment for the chemical industry: Onwards to integrated system analysis. *Journal of Cleaner Production*, 278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123966>
- Debnath, B., Haldar, D., & Purkait, M. K. (2021). A critical review on the techniques used for the synthesis and applications of crystalline cellulose derived from agricultural wastes and forest residues. *Carbohydrate Polymers*, 273, 118537. <https://doi.org/10.1016/J.CARB-POL.2021.118537>
- Decreto 677 de1995 [con fuerza de ley]. Por lo cual se reglamenta parcialmente el Régimen de Registros y Licencias, el Control de Calidad, así como el Régimen de Vigilancia Sanitarias de Medicamentos, Cosméticos, Preparaciones Farmacéuticas a base de Recursos Naturales, Productos de Aseo, Higiene y Limpieza y otros productos de uso doméstico y se dictan tras disposiciones sobre la materia. Abril 26 de 1995. DO. N° 41.827
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE & Departamento Nacional de Planeación – DPN. (2020). Principales variables cadena Industria Farmacéutica (2002-2019). [Microsoft Excel]. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Empresarial/Farmacaceutica.xlsx>
- Diaz-Balteiro, L., González-Pachón, J., & Romero, C. (2017). Measuring systems sustainability with multi-criteria methods: A critical review. *European Journal of Operational Research*, 258(2), 607–616. doi:10.1016/j.ejor.2016.08.075

- Dietrich, K., Dumont, M. J., Del Rio, L. F., & Orsat, V. (2019). Sustainable PHA production in integrated lignocellulose biorefineries. *New Biotechnology*, 49(November 2018), 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2018.11.004>
- Dincer, I., & A. Rosen A. Rosen, M. (2007). *Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development*. <https://doi.org/doi.org/10.1016/B978-0-12-375025-9.00023-3>
- Dos Santos, P. H., Neves, S. M., Sant'Anna, D. O., Oliveira, C. H. de, & Carvalho, H. D. (2019). The analytic hierarchy process supporting decision making for sustainable development: An overview of applications. *Journal of Cleaner Production*, 212, 119–138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.270>
- Elkington, J., (1997). *Cannibals with Forks: the Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Capstone Publishing, Ltd, Oxford.
- Empresas Públicas de Medellín (EPM). (2021a). Tarifas de acueducto y saneamiento básico de EPM. Tarifas de acueducto y saneamiento básico de EPM. Recuperado 14 de octubre de 2021, de <https://cu.epm.com.co/clientesyusuarios/aguas/tarifas-aguas>
- Empresas Públicas de Medellín (EPM). (2021b). Tarifas de Energía EPM. Tarifas de Energía EPM. Recuperado 15 de octubre de 2021, de <https://cu.epm.com.co/clientesyusuarios/energia/tarifas-energia>
- Empresas Públicas de Medellín (EPM). (2021c). Tarifas del servicio de gas natural de EPM. Tarifas del servicio de Gas Natural de EPM. Recuperado 10 de septiembre de 2021, de <https://cu.epm.com.co/clientesyusuarios/gas/tarifas-gas#L-mites-de-rangos-y-cargos-de-distribucion-no-residencial-2021-532>
- Enlace Profesional. (2020). Escala Mínimos de Remuneración 2020 [en línea]. Recuperado de [https://medellin.unal.edu.co/egresados/images/pdf/Escala\\_salarial\\_2\\_1.pdf](https://medellin.unal.edu.co/egresados/images/pdf/Escala_salarial_2_1.pdf)
- Gericke, M., Fardim, P., & Heinze, T. (2012). Ionic liquids - Promising but challenging solvents for homogeneous derivatization of cellulose. *Molecules*, 17(6), 7458–7502. <https://doi.org/10.3390/molecules17067458>
- Gobierno de la Republica de Colombia. (2019). Gestor Normativo. Función Pública. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>
- %5). Evaluación Financiera de Proyectos. Medellín, Colombia.
- Granström, M. (2009). *Cellulose Derivatives: Synthesis, Properties and Applications*. University of Helsinki. Recuperado de <http://www.derwentinnovation.com/tip-innovation/%0Ahttp://www.derwentinnovation.com/tip-innovation/recordView.do?data-source=T3&category=PAT&selRecord=1&totalRecords=1&databaseIds=PA-TENT&recordKeys=US20160317711A120161103>
- Hanumante, N. C., Shastri, Y., & Hoadley, A. (2019). Assessment of circular economy for global sustainability using an integrated model. *Resources, Conservation and Recycling*, 151, 104460. doi:10.1016/j.resconrec.2019.104460
- Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I. (Eds.). (2018). *Life Cycle Assessment*. doi:10.1007/978-3-319-56475-3
- Heinze, T., & Koschella, A. (2005). Solvents applied in the field of cellulose chemistry: a mini review. *Polímeros*, 15(2), 84–90. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282005000200005>

- Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. D. M., ... van Zelm, R. (2017). ReCiPe 2016 v1.1. Recuperado de [www.rivm.nl/en](http://www.rivm.nl/en)
- Husgafvel, R., Vanhatalo, K., Rodriguez-Chiang, L., Linkosalmi, L., & Dahl, O. (2016). Comparative global warming potential assessment of eight microcrystalline cellulose manufacturing systems. *Journal of Cleaner Production*, 126, 620–629. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.091>
- Ihobe. (22 de mayo de 2015). Análisis de Ciclo de Vida: ¿Cómo Medir El Impacto Ambiental De Un Producto A Lo Largo De Su Ciclo De Vida? Obtenido De: <https://www.ihobe.eus/inicio>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC. (2007). Norma Técnica Colombiana (NTC-ISO) 14040. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y Marco de Referencia. Bogotá D.C.
- Investing.com - El Portal Financiero Líder. (2021). Euro Peso colombiano histórico | Evolución EUR/COP - Investing.com. Investing.com Español. Recuperado 3 de abril de 2021, de <https://es.investing.com/currencies/eur-cop-historical-data>
- Isik, M., Sardon, H., & Mecerreyes, D. (2014). Ionic liquids and cellulose: Dissolution, chemical modification and preparation of new cellulosic materials. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(7), 11922–11940. <https://doi.org/10.3390/ijms150711922>
- Javad, S & Khosro, A (2013). Application of Cellulose and Cellulose Derivatives in Pharmaceutical Industries, Cellulose - Medical, Pharmaceutical and Electronic Applications, Theo van de Ven and Louis Godbout, IntechOpen, DOI: 10.5772/55178. Available from: <https://www.intechopen.com/books/cellulose-medical-pharmaceutical-and-electronic-applications/application-of-cellulose-and-cellulose-derivatives-in-pharmaceutical-industries>
- Jering, A., Günther, J., Raschka, A., & Carus, M. (2010). Use of renewable raw materials with special emphasis on chemical industry. ETC/SCP report, (March), 1–58. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13506.61121>
- Jia, X., Li, Z., Wang, F., & Qian, Y. (2016). Integrated sustainability assessment for chemical processes. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(5), 1295–1306. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-1075-x>
- Katakojwala, R., & Mohan, S. V. (2020). Microcrystalline cellulose production from sugarcane bagasse: Sustainable process development and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119342. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119342>
- Kian, L. K., Jawaid, M., Ariffin, H., & Alothman, O. Y. (2017). Isolation and characterization of microcrystalline cellulose from roselle fibers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103, 931–940. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.135>
- Kian, L. K., Saba, N., Jawaid, M., & Fouad, H. (2020). Characterization of microcrystalline cellulose extracted from olive fiber. *International Journal of Biological Macromolecules*, 156, 347–353. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.015>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions. *SSRN Electronic Journal*. doi:10.2139/ssrn.3037579
- Klemm, D., Cranston, E. D., Fischer, D., Gama, M., Kedzior, S. A., Kralisch, D., Rauchfuß, F. (2018). Nanocellulose Nano cellulose as a natural source for groundbreaking applications in

- materials science: Today's state. *Materials Today*, 21(7), 720–748. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2018.02.001>
- Korhonen, J., Pätäri, S., Toppinen, A., & Tuppur, A. (2015). The role of environmental regulation in the future competitiveness of the pulp and paper industry: the case of the sulfur emissions directive in Northern Europe. *Journal of Cleaner Production*, 108, 864–872. doi:10.1016/j.jclepro.2015.06.003
- Kumar, B., Bhardwaj, N., Agrawal, K., Chaturvedi, V., & Verma, P. (2020). Current perspective on pretreatment technologies using lignocellulosic biomass: An emerging biorefinery concept. *Fuel Processing Technology*, 199(October 2019). <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.106244>
- Kuutti, L. (2013). Cellulose ,CelluloseCellulose, Cellulose, starch and their derivatives for industrial applications. (VTT Technical Research Centre of Finland, Ed.) (31a ed.). HeLlInki. Recuperado de <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>
- L. T. Fan, T. Z. (2012). Estimation of Exergy Dissipation and Cost: The Foundation for Sustainability Assessment in Process Design. In T. R. R Foo Dominic C Y, El-Halwagi Mahmoud (Ed.), *Recent Advances in Sustainable Process Design and Optimization* (Vol. 3, p. 787).
- Liu, Y., Liu, A., Ibrahim, S. A., Yang, H., & Huang, W. (2018). Isolation and characterization of microcrystalline cellulose from pomelo peel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 111, 717–721. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.098>
- Maciel, V. G., Wales, D. J., Seferin, M., Lie Ugaya, C. M., & Sans, V. (2019). State-of-the-art and limitations in the life cycle assessment of ionic liquids. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2019.01.133
- Mäki-Arvela, P., Anugwom, I., Virtanen, P., Sjöholm, R., & Mikkola, J. P. (2010). Dissolution of lignocellulosic materials and its constituents using ionic liquids-A review. *Industrial Crops and Products*, 32(3), 175–201. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.04.005>
- Marnewick, C. (2017). Information system project's sustainability capability levels. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1151–1166. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.02.014>
- Massachusetts Institute of Technology – MIT. (2018). The Observatory of Economic Complexity. Recuperado de <https://atlas.media.mit.edu/es/profile/hs92/3912/>
- Merck, Sigma-Aldrich. (2021, 25 octubre). Products: Microcrystalline Cellulose. <https://www.sigmaaldrich.com/CO/es>. Recuperado 25 de octubre de 2021, de <https://www.sigmaaldrich.com/NL/en/search/cellulose-microcrystalline?focus=products&page=1&perPage=30&sort=relevance&term=Cellulose%20microcrystalline&type=product>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (Gobierno de España). (2021). Bio-residuos. Biorresiduos. Recuperado 3 de abril de 2021, de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujo-biorresiduos/Biorresiduos-Que-caracteristicas-tienen.aspx>
- Mohamad Haafiz, M. K., Eichhorn, S. J., Hassan, A., & Jawaid, M. (2013). Isolation and characterization of microcrystalline cellulose from oil palm biomass residue. *Carbohydrate Polymers*, 93(2), 628–634. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.01.035>

- Mustapha, M. A., Manan, Z. A., & Wan Alwi, S. R. (2017). Sustainable Green Management System (SGMS) – An integrated approach towards organisational sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 146, 158–172. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.033>
- Nawała, J., Dawidziuk, B., Dziedzic, D., Gordon, D., & Popiel, S. (2018). Applications of ionic liquids in analytical chemistry with a particular emphasis on their use in solid-phase micro-extraction. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 105, 18–36. doi:10.1016/j.trac.2018.04.010
- Økland, A. (2015). Gap Analysis for Incorporating Sustainability in Project Management. *Procedia Computer Science*, 64(1877), 103–109. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.469>
- Olarte, L. (2019). Preparación de Proyectos: Estudio Técnico. Universidad EAFIT
- Owolabi, A. F., Haafiz, M. K. M., Hossain, M. S., Hussin, M. H., & Fazita, M. R. N. (2017). Influence of alkaline hydrogen peroxide pre-hydrolysis on the isolation of microcrystalline cellulose from oil palm fronds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 95, 1228–1234. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.016>
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. (E. Glandt, M. Klein, & T. Edgar, Eds.) (5th ed.). Colorado: McGraw-Hill.
- Phanthong, P., Reubroycharoen, P., Hao, X., Xu, G., Abudula, A., & Guan, G. (2018). Nanocellulose: Extraction and application. *Carbon Resources Conversion*, 1(1), 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2018.05.004>
- Polaskova, M., Cermak, R., Verney, V., Ponizil, P., Commereuc, S., Gomes, M. F. C & Machovsky, M. (2013). Preparation of microfibers from wood/ionic liquid solutions. *Carbohydrate Polymers*, 92(1), 214–217. doi:10.1016/j.carbpol.2012.08.089
- PROCOLOMBIA. (s. f.). Identificar la posición arancelaria o partida arancelaria | Portal de Exportaciones - Colombia Trade. Recuperado 20 de octubre de 2021, de <https://www.colombia-trade.com.co/contacto/preguntas-frecuentes/como-identifico-la-posicion-arancelaria>
- Revista Ambiental Catorce 6. (2019). Portal Legal Ambiental de Colombia. Recuperado de <https://www.catorce6.com/legal>
- Righi, S., Baioli, F., Dal Pozzo, A., & Tugnoli, A. (2018). Integrating life cycle inventory and process design techniques for the early estimate of energy and material consumption data. *Energies*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/en11040970>
- Righi, S., Morfino, A., Galletti, P., Samorì, C., Tugnoli, A., & Stramigioli, C. (2011). Comparative cradle-to-gate life cycle assessments of cellulose dissolution with 1-butyl-3-methylimidazolium chloride and N-methyl-morpholine-N-oxide. *Green Chem.*, 13(2), 367–375. doi:10.1039/c0gc00647e
- Río Aseo Total. (2021, 14 julio). Tarifas. Recuperado 9 de septiembre de 2021, de <http://www.rioaseototal.com/tarifas-3>
- Romero, J. C., & Linares, P. (2014). Exergy as a global energy sustainability indicator. A review of the state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 427–442. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.012>

- Saaty, T. L. (2006). Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes. *European Journal of Operational Research*, 168(2), 557–570. doi:10.1016/j.ejor.2004.04.032
- Sahu, L. K., Sheel, V., Kajino, M., Deushi, M., Gunthe, S. S., Sinha, P. R., Smit, H. G. (2014). Seasonal and interannual variability of tropospheric ozone over an urban site in India: A study based on MOZAIC and CCM vertical profiles over Hyderabad. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(6), 3615–3641. doi:10.1002/2013jd021215
- Sánchez, M. A. (2015). Integrating sustainability issues into project management. *Journal of Cleaner Production*, 96, 319–330. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.087>
- Sapag, N & Sapag, R. (2008). Preparación y evaluación de proyectos. Recuperado de [http://www.delfabro.cl/preparacinyevaluacindeproyectos\\_nassirsapag5edi.pdf](http://www.delfabro.cl/preparacinyevaluacindeproyectos_nassirsapag5edi.pdf)
- Shao, X., Wang, J., Liu, Z., Hu, N., Liu, M., & Xu, Y. (2020). Preparation and Characterization of Porous Microcrystalline Cellulose from Corncob. *Industrial Crops and Products*. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112457>
- Shi, Y., Arthanari, T., Liu, X., & Yang, B. (2019). Sustainable transportation management: Integrated modeling and support. *Journal of Cleaner Production*, 212, 1381–1395. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.209>
- Signet. (s. f.). Products. Recuperado 10 de octubre de 2021, de <https://www.signetexcipients.com/product.aspx?prdid=2>
- Silvius, A. J. G., & Schipper, R. P. J. (2014). Sustainability in project management :management: A literature review and impact analysis. *Social Business*, 4(1), 63–96. <https://doi.org/10.1362/204440814X13948909253866>
- Sixta, H., Iakovlev, M., Testova, L., Roselli, A., Hummel, M., Borrega, M., Schottenberger, H. (2013). Novel concepts of dissolving pulp production. *Cellulose*, 20(4), 1547–1561. doi:10.1007/s10570-013-9943-1
- Sixta, H., Potthast, A., & Krotschek, A. W. (2006). *Chemical Pulping Processes*. In H. Sixta (Ed.), *Handbook of Pulp* (p. 109–). WILEY-VCH.
- Stolarska, O., Pawlowska-Zygarowicz, A., Soto, A., Rodríguez, H., & Smiglak, M. (2017). Mixtures of ionic liquids as more efficient media for cellulose dissolution. *Carbohydrate Polymers*, 178(September), 277–285. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.09.025>
- Sun, N., & Rogers, R. D. (2010). *Dissolution and Processing of Cellulosic Materials with Ionic Liquids: Fundamentals and Applications* (Master thesis). University of Alabama, United States. Recuperado de [http://acumen.lib.ua.edu/u0015/0000001/0000518/u0015\\_0000001\\_0000518.pdf](http://acumen.lib.ua.edu/u0015/0000001/0000518/u0015_0000001_0000518.pdf)
- Song, Y., & Chen, C.-C. (2009). Symmetric Electrolyte Nonrandom Two-Liquid Activity Coefficient Model. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(16), 7788–7797. doi:10.1021/ie9004578
- Sundarraaj, A. A., & Ranganathan, T. V. (2018). A review on cellulose and its utilization from agro-industrial waste. *Drug Invention Today*, 10(1), 89–94.

- Swatloski, R. P., Spear, S. K., Holbrey, J. D., & Rogers, R. D. (2002). Dissolution of cellulose with ionic liquids. *Journal of the American Chemical Society*, 124(18), 4974–4975. <https://doi.org/ja025790m> [pii]
- Tarchoun, A. F., Trache, D., & Klapötke, T. M. (2019). Microcrystalline cellulose from *Posidonia oceanica* brown algae: Extraction and characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 138, 837–845. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.176>
- Tomimatsu, Y., Suetsugu, H., Yoshimura, Y., & Shimizu, A. (2019). The solubility of cellulose in binary mixtures of ionic liquids and dimethyl sulfoxide: Influence of the anion. *Journal of Molecular Liquids*. doi:10.1016/j.molliq.2019.01.093
- Trache, D., Hussin, M. H., Hui Chuin, C. T., Sabar, S., Fazita, M. R. N., Taiwo, O. F. A., ... Haafiz, M. K. M. (2016). Microcrystalline cellulose: Isolation, characterization and bio-composites application—A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 93, 789–804. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.09.056>
- Vanhatalo, K. (2017). A new manufacturing process for microcrystalline cellulose (MCC). Aalto University. Recuperado de <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/28047>
- Vanhatalo, K. M., Parviainen, K. E., & Dahl, O. P. (2014). Techno-Economic Analysis of Simplified Microcrystalline Cellulose Process. *BioResources*, 9(3), 4741–4755. <https://doi.org/10.15376/biores.9.3.4741-4755>
- Vásquez, C. A. (2015). *Modelado, simulación y potencial de sostenibilidad de procesos que involucran solventes verdes en la extracción de celulosa* (Tesis de maestría). Universidad de Antioquia, Colombia.
- Vásquez, C., Marulanda, M., Sánchez, M., & Cruz, J. (2019). Simulación y Análisis de Ingeniería Sostenible de la Producción de Celulosa a Través de Líquidos Iónicos. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(3), 1037–1051. <https://doi.org/https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2019v18n3/Vasquez>
- Ventura-Cruz, S., & Tecante, A. (2021). Nanocellulose and microcrystalline cellulose from agricultural waste: Review on isolation and application as reinforcement in polymeric matrices. *Food Hydrocolloids*, 118(March), 106771. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106771>
- Ventura-Cruz, S., Flores-Alamo, N., & Tecante, A. (2020). Preparation of microcrystalline cellulose from residual Rose stems (*Rosa* spp.) by successive delignification with alkaline hydrogen peroxide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 324–329. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.222>
- Verma, C., Mishra, A., Chauhan, S., Verma, P., Srivastava, V., Quraishi, M. A., & Ebenso, E. E. (2019). Dissolution of cellulose in ionic liquids and their mixed cosolvents: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 13, 100162. doi:10.1016/j.scp.2019.100162
- Vidal Benavides, A. (2014). Análisis del ciclo de vida de la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal usado. (Tesis de Maestría). Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia.
- Vila, C., Santos, V., & Parajó, J. C. (2003). Simulation of an Organosolv Pulping Process: Generalized Material Balances and Design Calculations. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42(2), 349–356. doi:10.1021/ie020654b



- Vo, T. D. H., Lin, C., Weng, C. E., Yuan, C. S., Lee, C. W., Hung, C. H., ... Lin, J. X. (2018). Vertical stratification of volatile organic compounds and their photochemical product formation potential in an industrial urban area. *Journal of Environmental Management*, 217, 327–336. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.101>
- Wang, B., Dong, F., Chen, M., Zhu, J., Tan, J., Fu, X., Chen, S. (2016). Advances in Recycling and Utilization of Agricultural Wastes in China: Based on Environmental Risk, Crucial Pathways, Influencing Factors, Policy Mechanism. *Procedia Environmental Sciences*, 31, 12–17. doi:10.1016/j.proenv.2016.02.002
- Wang, F., Wang, S., Xin, G., Li, Z., Tan, R. R., & Jia, X. (2019). Integrated sustainability assessment of chemical production chains. *Journal of Cleaner Production*, 219, 894–905. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.079>
- Worrell, E., Bernstein, L., Roy, J., Price, L., & Harnisch, J. (2008). Industrial energy efficiency and climate change mitigation. *Energy Efficiency*, 2(2), 109–123. doi:10.1007/s12053-008-9032-8
- Wu, H., Lv, K., Liang, L., & Hu, H. (2017). Measuring performance of sustainable manufacturing with recyclable wastes: A case from China's iron and steel industry. *Omega*, 66, 38–47. doi:10.1016/j.omega.2016.01.009
- Wu, H., Mora-Pale, M., Miao, J., Doherty, T., Linhardt, R. and Dordick, J. (2011). Facile pretreatment of lignocellulosic biomass at high loadings in room temperature ionic liquids. *Biotechnology and Bioengineering* 108, 2865- 2875.
- Yepes Maya, Diego Mauricio y Chejne Janna, Farid. (2012). Gasificación de biomasa residual en el sector floricultor, caso: Oriente Antioqueño. *Revista ION*, 25 (2), 49-55. Obtenido el 7 de enero de 2021 de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-100X2012000200006&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2012000200006&lng=en&tlng=es).
- Yohana Chaerunisaa, A., Sriwidodo, S., & Abdassah, M. (2020). Microcrystalline Cellulose as Pharmaceutical Excipient. *Pharmaceutical Formulation Design - Recent Practices*. doi:10.5772/intechopen.88092
- Zhang, Z., Zhang, A., Wu, K., Zhang, Q., Hu, A., & Li, W. (2016). Separation of ethyl acetate and 2-propanol azeotropic mixture using ionic liquids as entrainers. *Fluid Phase Equilibria*, 429, 331–338. doi:10.1016/j.fluid.2016.08.011
- Zhou, F., Hearne, Z., & Li, C.-J. (2019). Water – the greenest solvent overall. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. doi:10.1016/j.cogsc.2019.05.004
- Zhou, M., Jia, X., Xiang, S., & Qian, Y. (2010). Process sustainability assessment based on exergy life cycle analysis. *Computer and Applied Chemistry*
- Zhu, Z., Xu, Y., Li, H., Shen, Y., Meng, D., Cui, P., ... Gao, J. (2020). Separation of Isopropyl Alcohol and Isopropyl Ether with Ionic Liquids as Extractant Based on Quantum Chemical Calculation and Liquid-Liquid Equilibrium Experiment. *Separation and Purification Technology*, 116937. doi:10.1016/j.seppur.2020.116937
- Ziaei-Rad, Z., Fooladi, J., Pazouki, M., & Gummadi, S. N. (2021). Lignocellulosic biomass pretreatment using low-cost ionic liquid for bioethanol production: An economically viable method for wheat straw fractionation. *Biomass and Bioenergy*, 151(May), 106140. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106140>

## 9 ANEXOS

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

ANEXO 1

Costos mano de obra

CARGO	CANTIDAD	SALARIO MES (\$)	SALARIO AJUSTADO (\$) -Recargos-	SALUD OBLIGATORIA (\$)	PENSIÓN OBLIGATORIA (\$)	ARL (Administradora de Riegos Laborales)	Caja de compensación familiar (\$)	Subsidio de transporte (\$)	Vacaciones (\$)	Prima de servicios (\$)	Cesantías (\$)	Intereses de cesantías (\$)	Dotación (\$)	TOTAL MES (\$)	TOTAL AÑO (\$)
Gerente General	1	5.206.050		442.514	624.726	0,52%	27.176	208.242	-	216.936	433.838	433.838	52.061	7.645.379	91.744.553
Jefe de Investigación y Laboratorio	1	4.378.050		372.134	525.366	0,52%	22.853	175.122	-	182.433	364.838	364.838	43.781	6.429.415	77.152.974
Auxiliar de Calidad	1	1.666.350	3.621.812	141.640	199.962	6,96%	115.978	66.654	106.454	69.437	138.863	138.863	16.664	5.136.325	61.635.898
<b>PRODUCCIÓN</b>															
Jefe de Producción	1	4.378.050		372.134	525.366	6,96%	304.712	175.122	-	182.433	364.838	364.838	43.781	6.711.273	80.535.281
Asistente de Producción	1	2.609.235		221.785	313.108	6,96%	181.603	104.369	-	108.727	217.436	217.436	26.092	3.999.792	47.997.505
Operarios	50	1.051.560	2.285.566	89.383	126.187	6,96%	73.189	42.062	106.454	43.819	87.630	87.630	10.516	173.621.731	2.083.460.766
Profesional de Mantenimiento	1	2.609.235		221.785	313.108	6,96%	181.603	104.369	-	108.727	217.436	217.436	26.092	3.999.792	47.997.505
Auxiliar Mantenimiento	1	1.666.350	3.621.812	141.640	199.962	6,96%	115.978	66.654	106.454	69.437	138.863	138.863	16.664	5.136.325	61.635.898
<b>GESTIÓN HUMANA</b>															
Jefe de Recursos Humanos	1	4.378.050		372.134	525.366	0,52%	22.853	175.122	-	182.433	364.838	364.838	43.781	6.429.415	77.152.974
Profesional de Gestión Humana	1	2.609.235		221.785	313.108	0,52%	13.620	104.369	-	108.727	217.436	217.436	26.092	3.831.809	45.981.714
Profesional de Compras	1	2.609.235		221.785	313.108	0,52%	13.620	104.369	-	108.727	217.436	217.436	26.092	3.831.809	45.981.714
Profesional de Logística	1	2.609.235		221.785	313.108	4,35%	113.502	104.369	-	108.727	217.436	217.436	26.092	3.931.691	47.180.292
Profesional Contable	1	2.609.235		221.785	313.108	0,52%	13.620	104.369	-	108.727	217.436	217.436	26.092	3.831.809	45.981.714
Profesional Nomina	1	2.609.235		221.785	313.108	0,52%	13.620	104.369	-	108.727	217.436	217.436	26.092	3.831.809	45.981.714
Profesional de Informática	1	2.609.235		221.785	313.108	0,52%	13.620	104.369	-	108.727	217.436	217.436	26.092	3.831.809	45.981.714
Comercial	1	1.666.350		141.640	199.962	0,52%	8.698	66.654	106.454	69.437	138.863	138.863	16.664	3.073.583	36.883.001
Almacenista	1	1.051.560	2.285.566	89.383	126.187	4,35%	45.743	42.062	106.454	43.819	87.630	87.630	10.516	3.444.989	41.339.866
<b>GESTIÓN INTEGRAL</b>															
Jefe de Gestión Integral	1	4.378.050		372.134	525.366	4,35%	190.445	175.122	-	182.433	364.838	364.838	43.781	6.597.006	79.164.076
<b>TOTAL</b>	<b>66</b>	<b>\$ 48.085.065</b>		<b>\$ 4.087.231</b>	<b>\$ 5.770.208</b>	<b>\$ 1.458.814</b>	<b>\$ 1.923.403</b>	<b>\$ 532.270</b>	<b>\$ 2.003.705</b>	<b>\$ 4.007.089</b>	<b>\$ 4.007.089</b>	<b>\$ 480.851</b>	<b>\$ 2.600.000</b>	<b>\$ 255.315.763</b>	<b>\$ 3.063.789.157</b>

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

ANEXO 2

Dimensionamiento de la potencia de equipos y requerimientos energéticos MCC-Ac:

Nombre equipo ASPEN PLUS®	Descripción equipo	Power kw	Power HP	Potencia nominal HP	Consumo de agua kg/h	Costo \$/h	Produciendo la electricidad con gas natural, eficiencia 100%	Electricidad hidroeléctrica en Colombia
							CO <sub>2</sub> , (CH <sub>4</sub> kg/h)	CO <sub>2</sub> , (kg/h)
CENTRIF	Centrifuga en acero inoxidable austénico centrifuga para 265 ton/h	13,5929744	18,22114531	22,77643164	0	8502,269436	2,73496	0,113526675
COMPRES	Compresor centrifugo en acero inoxidable austénico	0,15	0,201072386	0,251340483	0	135,5	0,00016	6,81582E-06
COOL01	Intercambiador de calor de tubos y camisa en acero inoxidable austénico	-66328	-88911,5282	-88911,5282	11413625,72	\$ 3.774.410,60	13345,48555	NA
COOL02	Intercambiador de calor de tubos y camisa en acero inoxidable austénico	-12498,7618	-16754,3724	-16754,3724	2155396,504	712775,3832	2514,80087	NA
CRUSHER	Molino de cuchillas en acero inoxidable	3	4,021447721	5,026809651		2710,5	0,60361	0,025055592
DISTILLA	Torre destilación empacada de 0,54 m diámetro y 14 m altura en acero inoxidable							
CONDENSA	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable austénico	-802,951149	-1076,34202	-1076,34202	138467,9642	45790,44084	161,5569829	NA
REBOILER	Rehervidor de tubos y camisa en acero inoxidable austénico	801,546213	1074,458731	1074,458731	6059,831292	140763,2918	161,2743044	NA
FLASHEVA	Separador flash + Intercambiador en acero inoxidable austénico	70760,9468	94853,81609	94853,81609	116219,6503	12426661,91	14237,38552	NA
MIXER	Tanque mezclador	0	0		253,278	0	0	0
MIXER1	Tanque mezclador	0	0		0	0	0	0
MIXER2	Tanque mezclador	0	0		0	0	0	0
MIXER3	Tanque mezclador	0	0		0	0	0	0
PERCOLAT	Tanque agitado con separaciones laterales en acero inoxidable austénico	0	0	0	4065,09	0,0	0,00000	0
PUMP 0	Bomba centrifuga en acero inoxidable austénico	13,5929744	18,22114531	22,77643164	0	8502,269436	2,734960813	0,113526675
PUMP 1	Bomba centrifuga en acero inoxidable	0,15	0,201072386	0,251340483	0	135,5	0,00016	6,81582E-06
PUMP 2	Bomba centrifuga en acero inoxidable	0,15	0,201072386	0,251340483		135,5	0,00001	5,5844E-07
PUMP3	Bomba centrifuga en acero inoxidable austénico	0,415301313	0,556704173	0,695880216		375,2	0,08356	0,00346854
PUMP4	Bomba centrifuga en acero inoxidable austénico	1,97196235	2,643381166	3,304226458		1781,7	0,39677	0,016469562
PUMP5	Bomba centrifuga en acero inoxidable austénico	0,15	0,201072386	0,251340483		135,5	0,00318	0,000132118
PURIF	Tanque separador en acero inoxidable de 200 L							
CONDENSA	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable austénico	-401,475575	-538,171011	-538,171011	69233,98212	22895,2	80,77849	NA
REBOILER	Rehervidor de tubos y camisa en acero inoxidable austénico	400,7731065	537,2293653	537,2293653	3029,915646	70381,6	80,63715	NA
REACTOR	Reactor agitado continuo en acero inoxidable austénico con serpentín	17455,2881	23398,50952	23398,50952	30882,9028	3065405,0	3512,07378	NA
STRIP	Torre destilación empacada de 0,38 m diámetro y 8 m altura en acero inoxidable							
CONDENSA	Condensador	-217,411207	-291,435934	-291,435934	37492,30224	12398,5	43,74400	NA
REBOILER	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable	242,527178	325,1034558	325,1034558	1833,548407	42591,3	48,79744	NA
VENT	Tanque separador en acero inoxidable de 200 L	-16,6557239	-22,3267076	-22,3267076	2872,259644	949,8	3,35120	NA
Estimado							CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Potencia electrica							34189,89	0,2722
Carga técnica							34190,16	
Total CO <sub>2</sub> generado por equipos que funcionan a Gas Natural y Equipos que funcionan con energía electrica								

**Factores y conversiones utilizados en las estimaciones:**

Factores de conversión utilizados	Unidad	Descripción
Costo electricidad	722,8 \$/kWh	Costo industria (EPM, 2021)
Costo Gas natural	1544,68 \$/m <sup>3</sup>	Costo industrial, consumo mayor a 20m <sup>3</sup>
Poder Calorífico	37253 kJ/m <sup>3</sup>	
Eficiencia	0,85 No aplica	Conversión de energía de combustible al vapor
Valor energía Gas natural	0,0487818 \$/kJ	
Conversión CH <sub>4</sub> /electricidad	24,090909 No aplica	Factor de conversión de gases de efecto invernadero producidos por cadenas de generación de electricidad

**Consumos estimados MCC-Ac:**

**WATER CONSUMPTION**

HOT (STEAM)	2241,53 kg/h	Calculada como una restitución del 2,5% del caudal de operación por evaporación, fugas y/o purgas
COOLING WATER	345427,22 kg/h	Calculada como una restitución del 2,5% del caudal de operación por evaporación, fugas y/o purgas
PROCES WATER	4318,37 kg/h	

**ENERGY CONSUMPTION**

ELECTRICITY	33,17 kW	
HEAT (STEAM)	89661,08 kW	
FUEL (NG)	10193,57 m <sup>3</sup> /h	Consumo de gas natural con 60% eficiencia de aprovechamiento térmico

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

**Dimensionamiento de la potencia de equipos y requerimientos energéticos MCC-II:**

Nombre equipo ASPEN PLUS®	Descripción equipo	Power kw	Power HP	Potencia nominal HP	Consumo de agua kg/h	Costo \$/h	Produciendo la electricidad con gas natural, eficiencia 100%	Electricidad hidroeléctrica en Colombia	
							CO <sub>2</sub> , (CH <sub>4</sub> kg/h)	CO <sub>2</sub> , (kg/h)	
CRUSHER	Molino de cuchillas en acero inoxidable	3	4,021447721	5,026809651		2710,5	0,430666667	0,01787673	
DECANTER	Tanque decantador en acero inoxidable	0	0	0		0	0	0	
DIST 01	Torre empacada PALL 1,5 in en acero inoxidable, 15 cm, 2,5 m altura								
REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable	33,0333	44,280563	44,280563	84,249	6038,98	7,81933	NA	
CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable	-33,5261	-44,9411528	-44,9411528	5781,53	1911,92	6,74558	NA	
DIST 02	Torre empacada PALL 1,5 in en acero inoxidable, 20 cm, 5 m altura								
REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable	176,663	236,8136729	236,8136729	312,562	31024,6	35,5453	NA	
CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable	-166,36	-223,002681	-223,002681	28688,6	9487,15	33,4723	NA	
HX1 (HEATER)	Intercambiador tubos y camisa en acero inoxidable	41,5356	55,67774799	55,67774799	73,4873	7294,28	8,36E+00	NA	
HX2 (COOLER)	Intercambiador tubos y camisa en acero inoxidable	-9,27942	-12,4389008	-12,4389008	1851,42	529,184	1,87E+00	NA	
MIX-NAOH	Tanque mezclador	0	0	0	41,3664	0	0	0	
MIX-1	Tanque mezclador	0	0	0	0	0	0	0	
MIX-2	Tanque mezclador	0	0	0	0	0	0	0	
MIX-3	Tanque mezclador	0	0	0	3,599321	0	0	0	
MIX-4	Tanque mezclador	0	0	0	0	0	0	0	
MIXNAOH2	Tanque mezclador	0	0	0	4,03246	0	0	0	
PUMP 1	Bomba centrífuga en acero inoxidable	0,15	0,201072386	0,251340483		135,525	4,27E-08	1,77E-09	
PUMP 2	Bomba centrífuga en acero inoxidable	0,15	0,201072386	0,251340483		135,525	8,80E-07	3,65176E-08	
PUMP 3	Bomba centrífuga en acero inoxidable	0,15	0,201072386	0,251340483		135,525	2,13E-05	8,83292E-07	
PUMP 4	Bomba centrífuga en acero inoxidable	0,15	0,201072386	0,251340483		135,525	4,74E-04	1,96748E-05	
PUMP 5	Bomba centrífuga en acero inoxidable	0,15	0,201072386	0,251340483		135,525	6,21E-05	2,57625E-06	
PUMP 6	Bomba centrífuga en acero inoxidable	0,15	0,201072386	0,251340483		135,525	0,000804706	3,34029E-05	
PUMP 7	Bomba centrífuga en acero inoxidable	0,15	0,201072386	0,251340483		135,525	0,001463235	6,07381E-05	
PUMP 8	Bomba centrífuga en acero inoxidable	0,15	0,201072386	0,251340483		135,525	0,005337012	0,000221536	
PUMP 9	Bomba centrífuga en acero inoxidable	0,15	0,201072386	0,251340483		135,525	6,22E-05	2,58135E-06	
SEP-CELL (APROX)	Torre empacada PALL 1,5 in en acero inoxidable, dia 15 cm, 2,5 m altura								
REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable	33,0333	44,280563	44,280563	84,249	6038,98	7,81933	NA	
CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable	-33,5261	-44,9411528	-44,9411528	5781,53	1911,92	6,74558	NA	
SEP-HEMI (APROX)	Torre empacada PALL 1,5 in en acero inoxidable, 15 cm, 2,5 m altura								
REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable	33,0333	44,280563	44,280563	84,249	6038,98	7,81933	NA	
CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable	-33,5261	-44,9411528	-44,9411528	5781,53	1911,92	6,74558	NA	
REACTOR (COOLING)	Reactor agitado continuo de 250L en acero inoxidable con serpiente	-9,90628	-13,2791957	-13,2791957	1708,33	564,932	1,99318	NA	
PURIFIC1 (APROX)	Tanque separador en acero inoxidable de 200 l								
REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable	16,51665	22,1402815	22,1402815	42,1245	3019,49	3,909665	NA	
CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable austénico	-16,76305	-22,4705764	-22,4705764	2890,765	955,96	3,37279	NA	
PURIFIC2 (APROX)	Tanque separador en acero inoxidable de 200 l								
REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable	33,0333	44,280563	44,280563	84,249	6038,98	7,81933	NA	
CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable austénico	-33,5261	-44,9411528	-44,9411528	5781,53	1911,92	6,74558	NA	
SEP-NACL (APROX)	Tanque separador en acero inoxidable de 200 l	1	1,340482574	1,675603217		903,5	0,143555556	0,00595891	
Estimado		Total CO <sub>2</sub> generado por equipos que funcionan a Gas Natural y Equipos que funcionan con energía eléctrica						CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Potencia eléctrica								146,78	0,0242
Carga térmica								146,80	

**Factores y conversiones utilizados en las estimaciones:**

Factores de conversión utilizados	Unidad	Descripción
Costo electricidad	722,8 \$/kWh	Costo industria (EPM, 2021)
Costo Gas natural	1.544,68 \$/m <sup>3</sup>	Costo industrial, consumo mayor a 20m <sup>3</sup>
Poder Calorífico	37253 kJ/m <sup>3</sup>	
Eficiencia	0,85 No aplica	Conversión de energía de combustible al vapor
Valor energía Gas natural	0,0487818 \$/kJ	
Conversión CH <sub>4</sub> /electricidad	24,090909 No aplica	Factor de conversión de gases de efecto invernadero producidos por cadenas de generación de electricidad

**Consumos MCC-IL:**

**WATER CONSUMPTION**

HOT (STEAM)	38,26 kg/h	Calculada como una restitución del 5% del caudal de operación por evaporación, fugas y/o purgas
COOLING WATER	2913,26 kg/h	Calculada como una restitución del 5% del caudal de operación por evaporación, fugas y/o purgas
PROCES WATER	49,00 kg/h	

**ENERGY CONSUMPTION**

ELECTRICITY	5,35 kW	
HEAT (STEAM)	292,28 kW	
FUEL (NG)	47,07 m <sup>3</sup> /h	Consumo de gas natural con 60% eficiencia de aprovechamiento térmico

### ANEXO 3

#### Costos equipos y maquinarias

Equipos del proceso MCC-Ac:

Proceso MCC-Ac			
Nombre ASPEN PLUS®	Nombre Comercial	Costo Unidad USD	Costo Unidad COP
CRUSHER	Molino de cuchillas en acero inoxidable	\$ 813	\$ 3.001.176
PUMP 1	Bomba centrífuga en acero inoxidable	\$ 500	\$ 1.846.680
PUMP 2	Bomba centrífuga en acero inoxidable	\$ 500	\$ 1.846.680
COMPRES	Compresor centrífugo en acero inoxidable austénico	\$ 184	\$ 680.471
MIXER	Tanque mezclador	\$ 3.500	\$ 12.926.760
MIXER1	Tanque mezclador	\$ 3.500	\$ 12.926.760
PUMP 0	Bomba centrífuga en acero inoxidable austénico	\$ 715	\$ 2.642.082
REACTOR	Reactor agitado continuo en acero inoxidable austénico con serpentín	\$ 2.000	\$ 7.386.720
VENT	Tanque separador en acero inoxidable de 200 L	\$ 2.000	\$ 7.386.720
CENTRIF	Centrífuga en acero inoxidable austénico centrífuga para 265 ton/h	\$ 26.500	\$ 97.874.040
MIXER2	Tanque mezclador	\$ 3.500	\$ 12.926.760
PUMP4	Bomba centrífuga en acero inoxidable austénico	\$ 715	\$ 2.642.082
PERCOLAT	Tanque agitado con separaciones laterales en acero inoxidable austénico	\$ 2.000	\$ 7.386.720
PUMP3	Bomba centrífuga en acero inoxidable austénico	\$ 500	\$ 1.846.680
FLASHEVA	Separador flash + Intercambiador en acero inoxidable austénico	\$ 6.390	\$ 23.600.570
PUMP5	Bomba centrífuga en acero inoxidable austénico	\$ 500	\$ 1.846.680
CONDENSA	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable austénico	\$ 1.390	\$ 5.133.770
REBOILER	Rehervidor de tubos y camisa en acero inoxidable austénico	\$ 1.200	\$ 4.432.032
DISTILLA	Torre destilación empacada de 0,54 m diámetro y 14 m altura en acero inoxidable	\$ 1.733	\$ 6.398.746
CONDENSA	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable austénico	\$ 1.390	\$ 5.133.770
REBOILER	Rehervidor de tubos y camisa en acero inoxidable austénico	\$ 8.000	\$ 29.546.880
MIXER3	Tanque mezclador	\$ 3.500	\$ 12.926.760
COOL01	Intercambiador de calor de tubos y camisa en acero inoxidable austénico	\$ 1.000	\$ 3.693.360
COOL02	Intercambiador de calor de tubos y camisa en acero inoxidable austénico	\$ 1.000	\$ 3.693.360
PURIF	Tanque separador en acero inoxidable de 200 L	\$ 2.000	\$ 7.386.720
CONDENSA	Condensador	\$ 1.390	\$ 5.133.770
REBOILER	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable	\$ 1.200	\$ 4.432.032
STRIP	Torre destilación empacada de 0,38 m diámetro y 8 m altura en acero inoxidable	\$ 990	\$ 3.656.426
<b>Total</b>		<b>\$ 75.030</b>	<b>\$ 277.112.980</b>
<b>Ajuste importación (12%)</b>		<b>\$ 84.034</b>	<b>\$ 310.366.538</b>
<b>Ajuste dólar (25%)</b>		<b>\$ 105.042</b>	<b>\$ 387.958.172</b>



EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Equipos del proceso MCC-IL:

Proceso MCC-IL			
Nombre ASPEN PLUS®	Nombre Comercial	Costo Unidad USD	Costo Unidad COP
CRUSHER	Molino de cuchillas en acero inoxidable	\$ 813	\$ 3.001.176
DECANTER	Tanque decantador en acero inoxidable	\$ 19.516	\$ 72.081.020
DIST 01	Torre empacada PALL 1,5 in en acero inoxidable, 15 cm, 2,5 m altura	\$ 1.733	\$ 6.398.746
REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable	\$ 1.200	\$ 4.432.032
CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable	\$ 1.390	\$ 5.133.770
DIST 02	Torre empacada PALL 1,5 in en acero inoxidable, 20 cm, 5 m altura	\$ 1.733	\$ 6.398.746
REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable	\$ 1.200	\$ 4.432.032
CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable	\$ 1.390	\$ 5.133.770
HX1 (HEATER)	Intercambiador tubos y camisa en acero inoxidable	\$ 1.000	\$ 3.693.360
HX2 (COOLER)	Intercambiador tubos y camisa en acero inoxidable	\$ 1.000	\$ 3.693.360
MIX-NAOH	Tanque mezclador	\$ 3.500	\$ 12.926.760
MIX-1	Tanque mezclador	\$ 3.500	\$ 12.926.760
MIX-2	Tanque mezclador	\$ 3.500	\$ 12.926.760
MIX-3	Tanque mezclador	\$ 3.500	\$ 12.926.760
MIX-4	Tanque mezclador	\$ 3.500	\$ 12.926.760
MIXNAOH2	Tanque mezclador	\$ 3.500	\$ 12.926.760
PUMP 1	Bomba centrífuga en acero inoxidable	\$ 500	\$ 1.846.680
PUMP 2	Bomba centrífuga en acero inoxidable	\$ 500	\$ 1.846.680
PUMP 3	Bomba centrífuga en acero inoxidable	\$ 500	\$ 1.846.680
PUMP 4	Bomba centrífuga en acero inoxidable	\$ 500	\$ 1.846.680
PUMP 5	Bomba centrífuga en acero inoxidable	\$ 500	\$ 1.846.680
PUMP 6	Bomba centrífuga en acero inoxidable	\$ 500	\$ 1.846.680
PUMP 7	Bomba centrífuga en acero inoxidable	\$ 500	\$ 1.846.680
PUMP 8	Bomba centrífuga en acero inoxidable	\$ 500	\$ 1.846.680
PUMP 9	Bomba centrífuga en acero inoxidable	\$ 500	\$ 1.846.680
SEP-CELL (APROX)	Torre empacada PALL 1,5 in en acero inoxidable, dia 15 cm, 2,5 m altura	\$ 1.733	\$ 6.398.746
REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable	\$ 1.200	\$ 4.432.032
CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable	\$ 1.390	\$ 5.133.770
SEP-HEMI (APROX)	Torre empacada PALL 1,5 in en acero inoxidable, 15 cm, 2,5 m altura	\$ 1.733	\$ 6.398.746
REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable	\$ 1.200	\$ 4.432.032
CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable	\$ 1.390	\$ 5.133.770
REACTOR (COOLING)	Reactor agitado continuo de 250L en acero inoxidable con serpentín	\$ 2.000	\$ 7.386.720
PURIFIC1 (APROX)	Tanque separador en acero inoxidable de 200 l	\$ 2.000	\$ 7.386.720
REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable	\$ 1.200	\$ 4.432.032
CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable austénico	\$ 1.390	\$ 5.133.770
PURIFIC2 (APROX)	Tanque separador en acero inoxidable de 200 l	\$ 2.000	\$ 7.386.720
REBOIL	Rehervidor tipo marmita de tubos y camisa en acero inoxidable	\$ 1.200	\$ 4.432.032
CONDEN	Condensador de tubos y coraza en acero inoxidable austénico	\$ 1.390	\$ 5.133.770
SEP-NACL (APROX)	Tanque separador en acero inoxidable de 200 l	\$ 2.000	\$ 7.386.720
<b>Total</b>		<b>\$ 78.299</b>	<b>\$ 289.186.275</b>
<b>Ajuste importación (12%)</b>		<b>\$ 87.695</b>	<b>\$ 323.888.628</b>
<b>Ajuste dólar (25%)</b>		<b>\$ 109.619</b>	<b>\$ 404.860.785</b>

### Equipos para ambos procesos

Los equipos que se listan a continuación se costearon de igual manera para los procesos MCC-Ac y MCC-IL

<b>Otros equipos y maquinaria</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Costo unidad (COP)</b>	<b>Coto total COP)</b>
Empaquetadora vertical		1	\$ 28.500.000	\$ 28.500.000
Vehiculos	Minicargador	1	\$ 80.000.000	\$ 80.000.000
	Montacargas	1	\$ 119.000.000	\$ 119.000.000
	Estibador	1	\$ 16.000.000	\$ 16.000.000
Equipo de computo		5	\$ 3.652.800	\$ 18.264.000
		12	\$ 1.670.000	\$ 20.040.000
Enseres oficina		16	\$ 900.000	\$ 14.400.000

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

*Flujo de caja libre (FCL) y determinación de salvamento*

Resumen FCL MCC-Ac:

Año	0	1	2	3	4	5
Cantidades	-	2.587.199	3.600.000	3.664.800	3.730.766	3.797.920
Precio	\$ -	\$ 3.512.201	\$ 3.900.459	\$ 3.970.667	\$ 4.042.139	\$ 4.114.897
<b>Ingresos</b>	\$ -	\$ 826.069.425.980	\$ 1.170.137.554.186	\$ 1.212.641.630.704	\$ 1.256.689.625.298	\$ 1.302.337.619.247
<b>Costo total materias primas</b>	\$ -	\$ 526.715.413.710	\$ 745.686.990.196	\$ 781.195.894.491	\$ 816.704.798.786	\$ 852.213.703.081
<b>Costo Flores (transporte)</b>	\$ -	\$ 577.809.449	\$ 661.854.460	\$ 693.371.339	\$ 724.888.218	\$ 756.405.097
<b>Costos domiciliarios (trabajadores)</b>	\$ -	\$ 12.469.423	\$ 13.092.894	\$ 13.716.365	\$ 14.339.836	\$ 14.963.307
<b>Nomina total</b>	\$ -	\$ 3.063.789.157	\$ 3.216.978.615	\$ 3.370.168.073	\$ 3.523.357.531	\$ 3.676.546.989
<b>Mantenimiento Maquinaria</b>	\$ -	\$ 400.320.000	\$ 420.336.000	\$ 440.352.000	\$ 460.368.000	\$ 480.384.000
<b>Consumibles y Mantenimiento</b>	\$ -	\$ 15.265.000	\$ 2.709.000	\$ 2.838.000	\$ 2.967.000	\$ 3.096.000
<b>Alquiler espacio planta industrial</b>	\$ -	\$ 289.285.714	\$ 303.750.000	\$ 318.214.286	\$ 332.678.571	\$ 347.142.857
<b>Depreciaciones</b>						
Maquinaria proceso	\$ 417.000.000	\$ 41.700.000	\$ 41.700.000	\$ 41.700.000	\$ 41.700.000	\$ 41.700.000
Cargador, Montacarga y Estibador	\$ 215.000.000	\$ 43.000.000	\$ 43.000.000	\$ 43.000.000	\$ 43.000.000	\$ 43.000.000
Equipo de computo	\$ 38.304.000	\$ 7.660.800	\$ 7.660.800	\$ 7.660.800	\$ 7.660.800	\$ 7.660.800
<b>Amortizacion</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Instalación de equipos adquiridos	\$ 139.000.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000
Instrumentación (instalada)	\$ 139.000.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000
Tubería (instalada)	\$ 139.000.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000
Eléctrico (instalado)	\$ 83.000.000	\$ 16.600.000	\$ 16.600.000	\$ 16.600.000	\$ 16.600.000	\$ 16.600.000
Mejoras en el patio	\$ 28.000.000	\$ 5.600.000	\$ 5.600.000	\$ 5.600.000	\$ 5.600.000	\$ 5.600.000
Instalaciones de servicio (instalación)	\$ 139.000.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000	\$ 27.800.000
Ingeniería y supervisión	\$ 70.000.000	\$ 14.000.000	\$ 14.000.000	\$ 14.000.000	\$ 14.000.000	\$ 14.000.000
Honorario del contratista	\$ 28.000.000	\$ 5.600.000	\$ 5.600.000	\$ 5.600.000	\$ 5.600.000	\$ 5.600.000
Contingencia	\$ 112.000.000	\$ 22.400.000	\$ 22.400.000	\$ 22.400.000	\$ 22.400.000	\$ 22.400.000
<b>UAI (EBITA)</b>	-\$ 1.547.304.000	\$ 294.727.312.727	\$ 419.564.082.220	\$ 426.339.315.350	\$ 434.658.466.555	\$ 444.577.617.115
Impuesto	\$ -	\$ 94.424.431.408	\$ 134.260.506.310	\$ 136.428.580.912	\$ 139.090.709.297	\$ 142.264.837.477
ICA	\$ -	\$ 1.180.305.393	\$ 1.678.256.329	\$ 1.705.357.261	\$ 1.738.633.866	\$ 1.778.310.468
4 x 1000	\$ -	\$ 3.304.277.704	\$ 4.680.550.217	\$ 4.850.566.523	\$ 5.026.758.501	\$ 5.209.350.477
<b>UODI</b>	-\$ 1.547.304.000	\$ 195.818.298.222	\$ 278.944.769.364	\$ 283.354.810.654	\$ 288.802.364.890	\$ 295.325.118.693
<b>FC Operativo (Anual)</b>	-\$ 1.547.304.000	\$ 196.086.059.022	\$ 279.212.530.164	\$ 283.622.571.454	\$ 289.070.125.690	\$ 295.592.879.493
<b>FC Inversión (Anual)</b>	-\$ 528.262.717.710	-\$ 218.971.576.486	-\$ 35.508.904.295	-\$ 35.508.904.295	-\$ 35.508.904.295	\$ 681.956.855.425
<b>FC Proyecto (Anual)</b>	-\$ 529.810.021.710	-\$ 22.885.517.465	\$ 243.703.625.869	\$ 248.113.667.159	\$ 253.561.221.395	\$ 977.549.734.918

Nota: El FCL se realizó a sesenta meses (60), equivalente a cinco (5) años.

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Capital de trabajo MCC-Ac:

AÑO	0	1	2	3	4	5
<b>Inversión en Activos Fijos (CAPEX)</b>	<b>\$ 1.547.304.000</b>					
Capital De Trabajo	\$ 526.715.413.710	\$745.686.990.196,28	\$781.195.894.491,34	\$816.704.798.786,41	\$852.213.703.081,47	
	\$526.715.413.710	\$218.971.576.486	\$35.508.904.295	\$35.508.904.295	\$35.508.904.295	

Valor Salvamento MCC-Ac:

Salvamento	Maquinas	Eq. Computo	Vehiculos	Cap Trabajo
P compra	\$417.000.000	\$38.304.000	\$215.000.000	\$852.213.703.081
Dep acum	\$208.500.000	\$38.304.000	\$215.000.000	\$0
v. Libros	\$208.500.000	\$0	\$0	\$852.213.703.081
P Venta	\$125.100.000	\$11.491.200	\$64.500.000	\$681.770.962.465
Ganancia/Perdida	-\$83.400.000	\$11.491.200	\$64.500.000	-\$170.442.740.616
Imp	\$0	\$2.298.240	\$12.900.000	\$0
V salvamento	\$125.100.000	\$9.192.960	\$51.600.000	\$681.770.962.465
Si las Maquinas se vende antes de 2 años los Impuestos son del 32%, despues del 20%.				

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Resumen FCL MCC-IL:

Año	0	1	2	3	4	5
Cantidades	-	2.587.199	3.600.000	3.664.800	3.730.766	3.797.920
Precio	\$ -	\$ 3.512.201	\$ 3.900.459	\$ 3.970.667	\$ 4.042.139	\$ 4.114.897
<b>Ingresos</b>	\$ -	\$ 826.069.425.980	\$ 1.170.137.554.186	\$ 1.212.641.630.704	\$ 1.256.689.625.298	\$ 1.302.337.619.247
	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Costo total materias primas</b>	\$ -	\$ 2.209.702.126	\$ 3.128.342.336	\$ 3.277.311.018	\$ 3.426.279.701	\$ 3.575.248.384
<b>Costo Flores (transporte)</b>	\$ -	\$ 638.336.866	\$ 731.185.864	\$ 766.004.239	\$ 800.822.613	\$ 835.640.988
<b>Costos domiciliarios (trabajadores)</b>	\$ -	\$ 12.469.423	\$ 13.092.894	\$ 13.716.365	\$ 14.339.836	\$ 14.963.307
<b>Nomina total</b>	\$ -	\$ 3.063.789.157	\$ 3.216.978.615	\$ 3.370.168.073	\$ 3.523.357.531	\$ 3.676.546.989
<b>Mantenimiento Maquinaria</b>	\$ -	\$ 415.680.000	\$ 436.464.000	\$ 457.248.000	\$ 478.032.000	\$ 498.816.000
<b>Consumibles y Mantenimiento</b>	\$ -	\$ 154.800.000	\$ 162.540.000	\$ 170.280.000	\$ 178.020.000	\$ 185.760.000
<b>Quilero espacio planta industrial</b>	\$ -	\$ 289.285.714	\$ 303.750.000	\$ 318.214.286	\$ 332.678.571	\$ 347.142.857
	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Depreciaciones</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Maquinaria proceso	\$ 433.000.000	\$ 43.300.000	\$ 43.300.000	\$ 43.300.000	\$ 43.300.000	\$ 43.300.000
Cargador, Montacarga y Estiba	\$ 215.000.000	\$ 43.000.000	\$ 43.000.000	\$ 43.000.000	\$ 43.000.000	\$ 43.000.000
Equipo de computo	\$ 38.304.000	\$ 7.660.800	\$ 7.660.800	\$ 7.660.800	\$ 7.660.800	\$ 7.660.800
<b>Amortización</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Instalación de equipos adquiridos	\$ 144.000.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000
Instrumentación (instalada)	\$ 144.000.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000
Tubería (instalada)	\$ 144.000.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000
Eléctrico (instalado)	\$ 87.000.000	\$ 17.400.000	\$ 17.400.000	\$ 17.400.000	\$ 17.400.000	\$ 17.400.000
Mejoras en el patio	\$ 29.000.000	\$ 5.800.000	\$ 5.800.000	\$ 5.800.000	\$ 5.800.000	\$ 5.800.000
Instalaciones de servicio (instaladas)	\$ 144.000.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000	\$ 28.800.000
Ingeniería y supervisión	\$ 72.000.000	\$ 14.400.000	\$ 14.400.000	\$ 14.400.000	\$ 14.400.000	\$ 14.400.000
Honorario del contratista	\$ 29.000.000	\$ 5.800.000	\$ 5.800.000	\$ 5.800.000	\$ 5.800.000	\$ 5.800.000
Contingencia	\$ 115.000.000	\$ 23.000.000	\$ 23.000.000	\$ 23.000.000	\$ 23.000.000	\$ 23.000.000
	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>UAI (EBITA)</b>	-\$ 1.594.304.000	\$ 819.009.801.894	\$ 1.161.869.639.677	\$ 1.203.993.127.923	\$ 1.247.660.534.245	\$ 1.292.927.939.923
Impuesto	\$ -	\$ 262.195.445.542	\$ 371.798.284.697	\$ 385.277.800.935	\$ 399.251.370.958	\$ 413.736.940.775
ICA	\$ -	\$ 3.277.443.069	\$ 4.647.478.559	\$ 4.815.972.512	\$ 4.990.642.137	\$ 5.171.711.760
4 x 1000	\$ -	\$ 3.304.277.704	\$ 4.680.550.217	\$ 4.850.566.523	\$ 5.026.758.501	\$ 5.209.350.477
<b>UODI</b>	-\$ 1.594.304.000	\$ 550.232.635.579	\$ 780.743.326.205	\$ 809.048.787.953	\$ 838.391.762.648	\$ 868.809.936.911
	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>FC Operativo (Anual)</b>	-\$ 1.594.304.000	\$ 550.508.196.379	\$ 781.018.887.005	\$ 809.324.348.753	\$ 838.667.323.448	\$ 869.085.497.711
<b>FC Inversión (Anual)</b>	-\$ 3.804.006.126	-\$ 918.640.210	-\$ 148.968.683	-\$ 148.968.683	-\$ 148.968.683	\$ 3.050.891.667
<b>FC Proyecto (Anual)</b>	-\$ 5.398.310.126	\$ 549.589.556.169	\$ 780.869.918.322	\$ 809.175.380.071	\$ 838.518.354.766	\$ 872.136.389.377

Nota: El FCL se realizó a sesenta meses (60), equivalente a cinco (5) años. / Precio de venta de MCC 86,45 USD/kg.

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Capital de trabajo MCC-IL:

AÑO	0	1	2	3	4	5
<b>Inversión en Activos Fijos (CAPEX)</b>	<b>\$ 1.594.304.000</b>	<b>Capex</b>				
<b>Capital De Trabajo</b>	<b>\$ 2.209.702.126</b>	<b>\$3.128.342.335,57</b>	<b>\$3.277.311.018,22</b>	<b>\$3.426.279.700,86</b>	<b>\$3.575.248.383,51</b>	
	\$2.209.702.126	\$918.640.210	\$148.968.683	\$148.968.683	\$148.968.683	

Valor Salvamento MCC-IL:

Salvamento	Maquinas	Eq. Computo	Vehiculos	Cap Trabajo
P compra	\$433.000.000	\$38.304.000	\$215.000.000	\$3.575.248.384
Dep acum	\$216.500.000	\$38.304.000	\$215.000.000	\$0
v. Libros	\$216.500.000	\$0	\$0	\$3.575.248.384
P Venta	\$129.900.000	\$11.491.200	\$64.500.000	\$2.860.198.707
Ganancia/Perdida	-\$86.600.000	\$11.491.200	\$64.500.000	-\$715.049.677
Imp	\$0	\$2.298.240	\$12.900.000	\$0
V salvamento	129900000	9192960	51600000	2860198707
Si las Maquinas se vende antes de 2 años los Impuestos son del 32%, despues del 20%.				

## ANEXO 4

### Entradas y salidas ingresadas en SimaPro®

Proceso MCC-Ac:

Productos								
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos	Cantidad	Ud.	Cantidad	Asignación	Tipo de residu	Categoría	Comentario	
MCC_Ac (CO)	300	ton	Mass	100 %	no definido	_Proceso_MCC		
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*D	Mín	Máx	Comentario	
Entradas								
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*D	Mín	Máx	Comentario
Biomass	land	677,506	ton	Indefinido				
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*D	Mín	Máx	Comentario	
Acetic acid, without water, in 98% solution state (GLO)  market for   Cut-off	16,0704	ton	Indefinido					
Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state (RoW)  market for	13,550	ton	Indefinido					
Tap water (CO)  market for tap water   Cut-off, S	253430,7166	ton	Indefinido					
Natural gas, high pressure (RoW)  market for   Cut-off, S	7339370,15	m3	Indefinido					
Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor)	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*D	Mín	Máx	Comentario	
Electricity, high voltage (CO)  market for electricity, high voltage   Cut-off,	64579863,319	kWh	Indefinido					
Salidas								
Emisiones al aire	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*D	Mín	Máx	Comentario
Carbon dioxide		24616,91	ton	Indefinido				
Emisiones al agua	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*D	Mín	Máx	Comentario
Emisiones al suelo	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*D	Mín	Máx	Comentario
Flujos finales de residuos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*D	Mín	Máx	Comentario
Emisiones no materiales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*D	Mín	Máx	Comentario
Aspectos sociales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*D	Mín	Máx	Comentario
Asuntos economicos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*D	Mín	Máx	Comentario
Salidas conocidas a la tecnósfera. Residuos y emisiones para tratamiento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*D	Mín	Máx	Comentario	
Waste water - untreated, slightly organic and anorganic contaminated EU-	3145,318	ton	Indefinido					

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Proceso MCC-IL:

Productos								
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos	Cantidad	Ud.	Cantidad	Asignación %	Tipo de residu	Categoría	Comentario	
MCC_IL (CO)	300	ton	Mass	100 %	no definido	_Proceso_MCC		
Entradas								
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^D	Mín	Máx	Comentario
Biomass	land	748,477	ton	Indefinido				
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)								
	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^D	Mín	Máx	Comentario	
EMIM[AoC] (DE)	0,00369847	ton	Indefinido					
Dimethyl sulfoxide (GLO) market for   Cut-off, S	0,07	ton	Indefinido					
Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state (GLO) market for	0,68	ton	Indefinido					
Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state (RoW) market for	0,44	ton	Indefinido					
Ethanol, without water, in 99.7% solution state, from ethylene (RoW) mark	3,55	ton	Indefinido					
Tap water (CO) market for tap water   Cut-off, S	2160,37	ton	Indefinido					
Natural gas, high pressure (RoW) market for   Cut-off, S	33893,85	m3	Indefinido					
Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor)								
	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^D	Mín	Máx	Comentario	
Electricity, high voltage (CO) market for electricity, high voltage   Cut-off,	214293,276	kWh	Indefinido					
Salidas								
Emisiones al aire	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^D	Mín	Máx	Comentario
Carbon dioxide		105,6968	ton	Indefinido				
Emisiones al agua	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^D	Mín	Máx	Comentario
Emisiones al suelo	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^D	Mín	Máx	Comentario
Flujos finales de residuos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^D	Mín	Máx	Comentario
Emisiones no materiales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^D	Mín	Máx	Comentario
Aspectos sociales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^D	Mín	Máx	Comentario
Asuntos economicos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^D	Mín	Máx	Comentario
Salidas conocidas a la tecnósfera. Residuos y emisiones para tratamiento								
	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^D	Mín	Máx	Comentario	
Waste water - untreated, slightly organic and anorganic contaminated EU-	478,875	ton	Indefinido					



## ANEXO 5

### Matrices de ponderación modelo AHP

#### Dimensión Ambiental:

Comparación de Criterios etc

**DIMENSIÓN AMBIENTAL**

	Calentamiento global	Formación de ozono, ecos	Acidificación terrestre	Eutrofización de agua dulce	Eutrofización marina	Ecotoxicidad terrestre	Ecotoxicidad del agua dulce	Ecotoxicidad marina	Uso del suelo	Escasez de recursos minerales	Escasez de recursos fósiles	Consumo de agua
Calentamiento global	1	1	1	1/5	5	1	1/5	5	1	1	1	1
Formación de ozono, ecos	1	1	1	1/5	5	1	1/5	5	1	1	1	1
Acidificación terrestre	1	1	1	1/5	5	1	1/5	5	1	1	1	1
Eutrofización de agua dulce	5	5	5	1	5	5	1/5	5	5	5	5	5
Eutrofización marina	1/5	1/5	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/5
Ecotoxicidad terrestre	1	1	1	1/5	5	1	1/5	5	1	1	1	1
Ecotoxicidad del agua dulce	5	5	5	5	5	5	1	5	5	5	5	5
Ecotoxicidad marina	1/5	1/5	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/5
Uso del suelo	1	1	1	1/5	5	1	1/5	5	1	1	1	1
Escasez de recursos minerales	1	1	1	1/5	5	1	1/5	5	1	1	1	1
Escasez de recursos fósiles	1	1	1	1/5	5	1	1/5	5	1	1	1	1
Consumo de agua	1	1	1	1/5	5	1	1/5	5	1	1	1	1

#### Dimensión salud humana y seguridad:

Comparación de Criterios etc

**DIMENSIÓN DE SALUD HUMANA Y SEGURIDAD**

	Agotamiento del ozono estratosférico	Radiación ionizante	Formación de material particulado	Formación de ozono, Salud humana	Toxicidad humana (cáncer)	Toxicidad humana (no cáncer)	Consumo de agua	Calentamiento global	Empleo generado (con presiones)
Agotamiento del ozono estratosférico	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Radiación ionizante	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Formación de material particulado	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Formación de ozono, Salud humana	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Toxicidad humana (cáncer)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Toxicidad humana (no cáncer)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Consumo de agua	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Calentamiento global	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Empleo generado (con presiones)	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Dimensión económica:

**Comparación de Criterios en:  
DIMENSIÓN ECONÓMICA**

	TIRM	VPN	B/C	VAE	CAPEX
TIRM	1	1	1	1	1
VPN	1	1	1	1	1
B/C	1	1	1	1	1
VAE	1	1	1	1	1
CAPEX	1	1	1	1	1

## ANEXO 6

### Resultados de la simulación para el proceso Organosolv:

Description	Units	ACETICO	AGUA	AGUADIST	AGUALAV	AGUAPER	AIR-VENT	AIRE	BIOMASA	CELULOSA	DESSTRIP	HCL
From				DISTILLA		PERCOLAT	VENT			CENTRIF	STRIP	
To		PUMP2	PUMP1		PUMP3			COMPRES	CRUSHER	PERCOLAT	DISTILLA	MIXER
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Temperature	K	298,15	298,15	369,59	273,00	280,20	403,15	298,00	298,15	403,15	377,37	298,15
Pressure	N/sqm	101325,00	101325,00	100000,00	101325,00	303975,00	400000,00	101325,00	101325,00	400000,00	120000,00	110000,00
Molar Vapor Fraction		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,05	0,00	1,00
Molar Liquid Fraction		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,02	0,88	1,00	0,00
Molar Solid Fraction		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,07	0,00	0,00
Mass Vapor Fraction		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,04	0,00	1,00
Mass Liquid Fraction		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,03	0,62	1,00	0,00
Mass Solid Fraction		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	0,34	0,00	0,00
Molar Enthalpy	J/kmol	-456220444,72	-285822741,28	-279375739,27	-287719886,51	-287171851,85	3040520,67	-11143,98	-6748293531,23	-340678442,35	-293513439,16	-92350483,30
Mass Enthalpy	J/kg	-7597019,09	-15865573,07	-14742612,54	-15970880,64	-15939881,57	105023,32	-384,93	-46884815,86	-11062401,04	-13155918,81	-2532881,58
Molar Entropy	J/kmol-K	-241443,81	-163141,74	-148293,42	-169790,18	-167821,82	-2678,19	-33,43	-21857788,95	-400614,33	-151663,35	9257,65
Mass Entropy	J/kg-K	-4020,54	-9055,74	-7825,42	-9424,79	-9315,19	-92,51	-1,15	-151860,38	-13008,62	-6797,89	253,91
Molar Density	kmol/cum	17,86	55,35	51,03	55,50	55,51	0,12	0,04	10,47	2,33	43,15	0,04
Mass Density	kg/cum	1072,52	997,17	966,94	999,82	1000,08	3,45	1,18	1507,42	71,76	962,80	1,63
Enthalpy Flow	Watt	-47101,52	-1116221,41	-776043,72	-18034196,83	-13672538,21	189,09	-0,69	-12254928,75	-5829330,63	-1110600,85	-13241,08
Average MW		60,05	18,02	18,95	18,02	18,02	28,95	28,95	143,93	30,80	22,31	36,46
Mass Flows	kg/sec	0,01	0,07	0,05	1,13	0,86	0,00	0,00	0,26	0,53	0,08	0,01
XYLOSA	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AGUA	kg/sec	0,00	0,07	0,05	1,13	0,86	0,00	0,00	0,00	0,26	0,06	0,00
HEMICELU	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Description		Units	ACETICO	AGUA	AGUADIST	AGUALAV	AGUAPER	AIR-VENT	AIRE	BIOMASA	CELULOSA	DESS'TRIP	HCL
From	To		DISTILLA			PERCOLAT		VENT	COMPRES	CRUSHER	CENTRIF	STRIP	
Stream Class			PUMP2 CONVEN	PUMP1 CONVEN	CONVEN	PUMP3 CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	MIXER CONVEN
CELULOSA	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,12	0,00
ACETICO	kg/sec	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	0,00
CLORHIDR	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01
FURFURAL	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
GRUPACET	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
NVDS	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OCSP	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
LIGNINA	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,05	0,00	0,00
LIGNSOLU	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMCL	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CELULDIS	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMETSO	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMMSO4	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMACO	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMACO	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DBU	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TMG	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AIRE	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mass Fractions													
XYLOSA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

	Units	LICOFAS	LICORCEN	LICORLAV	LICSTRIP	LIQUORS	MEZCLA1	MEZCLA2	MEZCLA3	PULPA	S1	S2
Description												
From		FLASHEVA	CENTRIF	PERCOLAT	STRIP	MIXER2	MIXER1	REACTOR	VENT	PERCOLAT	CRUSHER	MIXER
To		PUMP5	MIXER2	MIXER2		COOL02	PUMP0	VENT	CENTRIF	PURIF	MIXER1	MIXER1
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
CELULOSA	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,00
ACETICO	kg/sec	0,02	4,21	0,04	0,00	4,25	4,24	4,25	4,25	0,00	0,00	0,00
CLORHIDR	kg/sec	0,00	1,97	0,02	0,00	1,99	1,99	1,99	1,99	0,00	0,00	0,01
FURFURAL	kg/sec	0,00	2,45	0,02	0,00	2,47	2,46	2,47	2,47	0,00	0,00	0,00
GRUPACET	kg/sec	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
NVDS	kg/sec	0,05	0,05	0,00	0,05	0,05	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
OCSP	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
LIGNINA	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,00
LIGNSOLU	kg/sec	0,01	0,06	0,00	0,01	0,06	0,05	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00
BMIMCL	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CELULDIS	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMETSO	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMSO4	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMACO	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMACO	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DBU	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TMG	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AIRE	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mass Fractions		0,03	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Description		Units	S3	S4	S5	S6	S7	S9	S10	S11	SOLVCAT2	SOLVCATA
From	To		PUMP1	COMPRES	PUMP2	PUMP0	COOL01	PUMP3	PUMP4	PUMP5	DISTILLA	FLASHEVA
Stream Class			MIXER1	MIXER	MIXER1	REACTOR	MIXER1	PERCOLAT	FLASHEVA	STRIP	MIXER3	MIXER3
			CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
CELULOSA	kg/sec		0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ACETICO	kg/sec		0,00	0,00	0,01	4,24	4,24	0,00	4,25	0,02	0,02	4,23
CLORHIDR	kg/sec		0,00	0,00	0,00	1,99	1,98	0,00	1,99	0,00	0,00	1,99
FURFURAL	kg/sec		0,00	0,00	0,00	2,46	2,46	0,00	2,47	0,00	0,00	2,47
GRUPACET	kg/sec		0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
NVDS	kg/sec		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
OCSP	kg/sec		0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LIGNINA	kg/sec		0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LIGNSOLU	kg/sec		0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,06	0,01	0,00	0,05
BMIMCL	kg/sec		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CELULDIS	kg/sec		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMETSO	kg/sec		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMSO4	kg/sec		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMACO	kg/sec		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMACO	kg/sec		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DBU	kg/sec		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TMG	kg/sec		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AIRE	kg/sec		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mass Fractions			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Description	Units	ACETICO	AGUA	AGUADIST	AGUALAV	AGUAPER	AIR-VENT	AIRE	BIOMASA	CELULOSA	DESS'TRIP	HCL
From				DISTILLA		PERCOLAT	VENT			CENTRIF	STRIP	
To		PUMP2	PUMP1		PUMP3			COMPRES	CRUSHER	PERCOLAT	DISTILLA	MIXER
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
AGUA		0,00	1,00	0,94	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,49	0,73	0,00
HEMICELU		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,01	0,00	0,00
CELULOSA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	0,23	0,00	0,00
ACETICO		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,23	0,00
C'LORHIDR		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	1,00
FURFURAL		0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,00
GRUPACET		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
NVDS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
O'CS'P		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
LIGNINA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,10	0,00	0,00
LIGNSOLU		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMCL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CELULDIS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMETS'O		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMSO4		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMACO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMACO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DBU		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TMG		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AIRE		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Volume Flow	cum/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

	Units	LICOFAS	LICORCEN	LICORLAV	LICSTRIP	LIQUORS	MEZCLA1	MEZCLA2	MEZCLA3	PULPA	S1	S2
Description												
From	FLASHEVA	CENTRIF	PERCOLAT	STRIP	MIXER2	MIXER1	REACTOR	VENT	PERCOLAT	CRUSHER	MIXER	
To	PUMP5	MIXER2	MIXER2		COOL02	PUMP0	VENT	CENTRIF	PURIF	MIXER1	MIXER1	
Stream Class	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
AGUA	0,41	0,75	0,80	0,00	0,75	0,74	0,74	0,74	0,50	0,00	0,00	0,00
HEMICELU	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,17	0,00	0,00
CELULOSA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,47	0,00	0,00
ACETICO	0,13	0,12	0,10	0,00	0,12	0,12	0,12	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
CLORHIDR	0,00	0,06	0,04	0,00	0,06	0,06	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,74
FURFURAL	0,03	0,07	0,06	0,02	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
GRUPACET	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
NVDS	0,34	0,00	0,00	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OCSP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
LIGNINA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,23	0,00	0,00
LIGNSOLU	0,06	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMCL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CELULDIS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMETSO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMSO4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMACO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMACO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DBU	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TMG	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AIRE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
Volume Flow	cum/sec	0,00	0,72	0,01	0,00	1,24	0,04	0,73	0,72	0,00	0,00	0,00



EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Description		Units	S3	S4	S5	S6	S7	S9	S10	S11	SOLVCAT2	SOLVCATA
From	To		PUMP1	COMPRES	PUMP2	PUMP0	COOL01	PUMP3	PUMP4	PUMP5	DISTILLA	FLASHEVA
Stream Class			MIXER1	MIXER	MIXER1	REACTOR	MIXER1	PERCOLAT	FLASHEVA	STRIP	MIXER3	MIXER3
			CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
	AGUA		1,00	0,00	0,00	0,74	0,75	1,00	0,75	0,41	0,39	0,75
	HEMICELU		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	CELULOSA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ACETICO		0,00	0,00	1,00	0,12	0,12	0,00	0,12	0,13	0,61	0,12
	CLORHIDR		0,00	0,00	0,00	0,06	0,06	0,00	0,06	0,00	0,00	0,06
	FURFURAL		0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,07	0,03	0,01	0,07
	GRUPACET		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	NVDS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00
	OCSP		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	LIGNINA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	LIGNSOLU		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00
	BMIMCL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	CELULDIS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	EMIMETSO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	BMIMS04		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	BMIMACO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	EMIMACO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	DBU		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	TMG		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AIRE		0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Volume Flow</b>		<b>cum/sec</b>	0,00	0,00	0,00	0,04	2,90	0,00	0,04	0,00	0,00	41,13

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[A<sub>6</sub>C]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

	Units	LICOFAS	LICORCEN	LICORLAV	LICSTRIP	LIQUORS	MEZCLA1	MEZCLA2	MEZCLA3	PULPA	S1	S2
Description												
From		FLASHEVA	CENTRIF	PERCOLAT	STRIP	MIXER2	MIXER1	REACTOR	VENT	PERCOLAT	CRUSHER	MIXER
To		PUMP5	MIXER2	MIXER2		COOL02	PUMP0	VENT	CENTRIF	PURIF	MIXER1	MIXER1
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Temperature	K	381,56	403,15	391,28	557,35	394,88	377,04	403,15	403,15	273,38	298,15	301,60
Pressure	N/sqm	121590,00	400000,00	303975,00	120000,00	303000,00	101325,00	400000,00	400000,00	303975,00	101325,00	110000,00
Molar Vapor Fraction		0,00	0,05	0,02	0,00	0,07	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	1,00
Molar Liquid Fraction		1,00	0,95	0,98	1,00	0,93	1,00	0,95	0,95	0,89	0,02	0,00
Molar Solid Fraction		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,98	0,00
Mass Vapor Fraction		0,00	0,06	0,03	0,00	0,09	0,00	0,06	0,06	0,00	0,00	1,00
Mass Liquid Fraction		1,00	0,94	0,97	1,00	0,91	0,99	0,93	0,93	0,50	0,03	0,00
Mass Solid Fraction		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,50	0,97	0,00
Molar Enthalpy	J/kmol	-345491571,22	-277492952,54	-279751944,78	-694384058,55	-277521188,21	-289171749,65	-278151305,35	-278172773,76	-386958868,15	-6748293518,32	-64311235,82
Mass Enthalpy	J/kg	-9931469,53	-12699991,73	-13390413,69	-5308436,45	-12708655,97	-13174613,29	-12674131,22	-12675267,63	-11992008,63	-46884815,77	-1881062,34
Molar Entropy	J/kmol-K	-179090,20	-138728,65	-144459,73	-301128,35	-138631,40	-171603,87	-141511,77	-141546,31	-578984,29	-21857909,45	11682,56
Mass Entropy	J/kg-K	-5148,11	-6349,18	-6914,61	-2302,07	-6348,41	-7818,24	-6448,07	-6449,72	-17942,95	-151861,22	341,71
Molar Density	kmol/cum	30,42	2,20	3,67	7,75	1,28	43,47	2,19	2,20	37,40	10,47	0,04
Mass Density	kg/cum	1058,19	48,06	76,70	1014,41	28,06	954,22	48,09	48,30	1206,73	1507,40	1,51
Enthalpy Flow	Watt	-1477148,64	-436566775,89	-5901622,57	-341416,36	-442465760,49	-459848457,16	-442379261,72	-442396106,53	-4288951,17	-12254928,73	-13220,27
Average MW		34,79	21,85	20,89	130,81	21,84	21,95	21,95	21,95	32,27	143,93	34,19
Mass Flows	kg/sec	0,15	34,38	0,44	0,06	34,82	34,90	34,90	34,90	0,36	0,26	0,01
XYLOSA	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AGUA	kg/sec	0,06	25,63	0,35	0,00	25,99	25,89	25,89	25,89	0,18	0,00	0,00
HEMICELU	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,01	0,01	0,04	0,00

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[A<sub>o</sub>C]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

	Units	S3	S4	S5	S6	S7	S9	S10	S11	SOLVCAT2	SOLVCATA
Description											
From		PUMP1	COMPRES	PUMP2	PUMP0	COOL01	PUMP3	PUMP4	PUMP5	DISTILLA	FLASHEVA
To		MIXER1	MIXER	MIXER1	REACTOR	MIXER1	PERCOLAT	FLASHEVA	STRIP	MIXER3	MIXER3
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Temperature	K	298,15	309,92	298,16	377,09	360,00	273,09	350,01	381,59	382,66	381,56
Pressure	N/sqm	110000,00	110000,00	110000,00	400000,00	106894,76	377115,29	310000,00	206000,00	120684,27	121590,00
Molar Vapor Fraction		0,00	1,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Molar Liquid Fraction		1,00	0,00	1,00	1,00	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
Molar Solid Fraction		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mass Vapor Fraction		0,00	1,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Mass Liquid Fraction		1,00	0,00	1,00	0,99	0,91	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
Mass Solid Fraction		0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Molar Enthalpy	J/kmol	-285822532,58	334658,40	-456219797,40	-289163201,83	-281794042,10	-287713257,39	-285359360,09	-345487871,45	-333944193,76	-240696002,92
Mass Enthalpy	J/kg	-15865561,49	11559,51	-7597008,31	-13174223,85	-12917469,73	-15970512,66	-13067593,00	-9931363,18	-10571832,88	-11039907,64
Molar Entropy	J/kmol-K	-163141,71	421,66	-241443,81	-170566,26	-149924,34	-180692,73	-160139,80	-178352,56	-169902,95	-40375,70
Mass Entropy	J/kg-K	-9055,74	14,56	-4020,54	-7770,97	-6872,55	-10029,97	-7333,36	-5126,91	-5378,70	-1851,90
Molar Density	kmol/cum	55,35	0,04	17,86	43,48	0,55	55,50	44,71	30,42	30,27	0,04
Mass Density	kg/cum	997,17	1,24	1072,51	954,27	11,90	999,83	976,33	1058,18	956,03	0,84
Enthalpy Flow	Watt	-1116220,59	20,81	-47101,45	-459834864,18	-446416986,11	-18033781,32	-454962545,71	-1477132,82	-335960,63	-382724450,32
Average MW		18,02	28,95	60,05	21,95	21,81	18,02	21,84	34,79	31,59	21,80
Mass Flows	kg/sec	0,07	0,00	0,01	34,90	34,56	1,13	34,82	0,15	0,03	34,67
XYLOSA	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AGUA	kg/sec	0,07	0,00	0,00	25,89	25,82	1,13	25,99	0,06	0,01	25,92
HEMICELU	kg/sec	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

ANEXO 7

*Resultados de la simulación para el proceso con líquido iónico EMIM[AoC]:*

	Units	BIOMASA	CELLULOS	DMSO	ETOH	HCL	LIQ-IONI	MEZCLA1	NACL
Description			SEP-CELL					MIX2	SEP-NACL
From			PURIFIC1	PUMP2	MIX3	MIX3	PUMP1	PUMP9	
To		CRUSHER	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Temperature	K	298,15	386,65	298,00	298,15	298,15	300,00	298,82	310,00
Pressure	atm	1,00	20,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,00
Molar Vapor Fraction		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Molar Liquid Fraction		0,00	0,03	1,00	1,00	1,00	1,00	0,01	1,00
Molar Solid Fraction		1,00	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	0,00
Mass Vapor Fraction		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mass Liquid Fraction		0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,01	1,00
Mass Solid Fraction		1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	0,00
Molar Enthalpy	cal/mol	-264295,64	-223952,55	-48471,00	-66470,48	-64698,82	-15867,71	-261655,52	-83998,46
Mass Enthalpy	cal/gm	-1877,77	-1417,26	-620,35	-1532,72	-3315,96	-93,34	-1872,13	-1437,28
Molar Entropy	cal/mol-K	-808,48	-747,66	-83,15	-78,11	-36,29	-29,84	-798,87	7,50
Mass Entropy	cal/gm-K	-5,74	-4,73	-1,06	-1,80	-1,86	-0,18	-5,72	0,13
Molar Density	mol/cc	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05	0,01	0,01	0,03
Mass Density	gm/cc	1,48	1,53	1,09	0,80	0,96	1,11	1,48	1,66
Enthalpy Flow	cal/sec	-542232,57	-126092,22	-17,91	-2187,01	-3684,53	-0,13	-543565,99	-384,12
Average MW		140,75	158,02	78,14	43,37	19,51	170,00	139,76	58,44
Mass Flows	kg/hr	1039,55	320,29	0,10	5,14	4,00	0,01	1045,24	0,96
XYLOSA	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AGUA	kg/hr	0,26	1,04	0,00	0,21	3,39	0,00	1,32	0,00
HEMICELU	kg/hr	265,47	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	265,47	0,00

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[A<sub>6</sub>C]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

	Units	NAOH	NAOH-AC	NAOH-SOL	REC-ETOH	S2	S3	S4	S5
Description									
From					SEP-NACL	CRUSHER	PUMP1	MIX-NAOH	PUMP2
To					MIX3	MIX2	MIX1	DECANTER	MIX1
Stream Class		PUMP4 CONVEN	PUMP5 CONVEN	REACTOR CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Temperature	K	298,15	298,15	298,15	310,00	298,15	263,29	389,02	298,09
Pressure	atm	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,22	2,50	2,22
Molar Vapor Fraction		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Molar Liquid Fraction		1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,25	1,00
Molar Solid Fraction		0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,75	0,00
Mass Vapor Fraction		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mass Liquid Fraction		1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,04	1,00
Mass Solid Fraction		0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,96	0,00
Molar Enthalpy	cal/mol	-68266,33	-68251,75	-67045,91	-67243,52	-264295,64	-15861,66	-212511,81	-48468,18
Mass Enthalpy	cal/gm	-3781,02	-3726,08	-1676,27	-2283,79	-1877,77	-93,30	-1912,22	-620,31
Molar Entropy	cal/mol-K	-38,86	-38,09	15,92	-55,38	-808,48	-30,52	-609,44	-83,14
Mass Entropy	cal/gm-K	-2,15	-2,08	0,40	-1,88	-5,74	-0,18	-5,48	-1,06
Molar Density	mol/cc	0,06	0,06	0,05	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
Mass Density	gm/cc	1,00	1,01	1,89	0,85	1,48	1,14	1,43	1,09
Enthalpy Flow	cal/sec	-43621,03	-4302,77	-306,59	-93250,28	-542232,57	-0,13	-577265,77	-17,91
Average MW		18,06	18,32	40,00	29,44	140,75	170,00	111,13	78,14
Mass Flows	kg/hr	41,53	4,16	0,66	146,99	1039,55	0,01	1086,78	0,10
XYLOSA	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AGUA	kg/hr	41,37	4,03	0,00	53,30	0,26	0,00	42,68	0,00
HEMICELU	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	265,47	0,00	265,47	0,00

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[A<sub>6</sub>C]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

	Units	S6	S7	S8	S9	S12	S17	S18	S19
<b>Description</b>									
<b>From</b>		<b>MIX1</b>	<b>DECANTER</b>	<b>DECANTER</b>	<b>MIXNAOH2</b>	<b>PUMP3</b>	<b>MIX3</b>	<b>SEP-HEMI</b>	<b>SEP-HEMI</b>
<b>To</b>		<b>MIX2</b>	<b>MIXNAOH2</b>	<b>PUMP6</b>	<b>PUMP7</b>	<b>MIX1</b>	<b>SEP-HEMI</b>	<b>HX2</b>	<b>PURIFIC2</b>
<b>Stream Class</b>		<b>CONVEN</b>	<b>CONVEN</b>	<b>CONVEN</b>	<b>CONVEN</b>	<b>CONVEN</b>	<b>CONVEN</b>	<b>CONVEN</b>	<b>CONVEN</b>
<b>Temperature</b>	<b>K</b>	411,76	389,02	389,02	386,63	418,40	352,90	352,90	352,90
<b>Pressure</b>	<b>atm</b>	2,02	2,50	2,50	2,50	3,00	1,00	1,00	1,00
<b>Molar Vapor Fraction</b>		0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,06	0,00
<b>Molar Liquid Fraction</b>		0,99	0,13	0,29	0,19	1,00	0,49	0,94	0,05
<b>Molar Solid Fraction</b>		0,00	0,87	0,71	0,81	0,00	0,48	0,00	0,95
<b>Mass Vapor Fraction</b>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,00
<b>Mass Liquid Fraction</b>		1,00	0,02	0,06	0,03	1,00	0,18	0,93	0,01
<b>Mass Solid Fraction</b>		0,00	0,98	0,94	0,97	0,00	0,80	0,00	0,99
<b>Molar Enthalpy</b>	<b>cal/mol</b>	-51689,26	-209848,09	-213566,78	-199140,49	-51747,86	-166820,25	-65274,67	-265673,92
<b>Mass Enthalpy</b>	<b>cal/gm</b>	-843,38	-1512,51	-2131,42	-1536,16	-848,23	-2092,44	-2170,63	-2074,49
<b>Molar Entropy</b>	<b>cal/mol-K</b>	-36,32	-662,81	-588,31	-615,53	-35,47	-421,55	-50,26	-783,01
<b>Mass Entropy</b>	<b>cal/gm-K</b>	-0,59	-4,78	-5,87	-4,75	-0,58	-5,29	-1,67	-6,11
<b>Molar Density</b>	<b>mol/cc</b>	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01
<b>Mass Density</b>	<b>gm/cc</b>	0,29	1,49	1,40	1,49	0,99	0,09	0,02	1,44
<b>Enthalpy Flow</b>	<b>cal/sec</b>	-1333,43	-161716,07	-415549,66	-166018,76	-1315,39	-477551,87	-92179,20	-385359,79
<b>Average MW</b>		61,29	138,74	100,20	129,64	61,01	79,73	30,07	128,07
<b>Mass Flows</b>	<b>kg/hr</b>	5,69	384,91	701,87	389,07	5,58	821,62	152,88	668,74
<b>XYLOSA</b>	<b>kg/hr</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>AGUA</b>	<b>kg/hr</b>	1,06	6,40	36,28	10,43	1,06	56,90	54,06	2,85
<b>HEMICELU</b>	<b>kg/hr</b>	0,00	39,82	225,65	39,82	0,00	225,65	0,00	225,65

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[A<sub>o</sub>C]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

	Units	BIOMASA	CELLULOS	DMSO	ETOH	HCL	LIQ-IONI	MEZCLA1	NACL
Description		SEP-CELL					MIX2	SEP-NACL	
From		CRUSHER	PURIFIC1	PUMP2	MIX3	MIX3	PUMP1	PUMP9	
To		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Stream Class									
CELULOSA	kg/hr	439,44	319,19	0,00	0,00	0,00	0,00	439,44	0,00
ACETICO	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CLORHIDR	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00	0,00
FURFURAL	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GRUPACET	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NVDS	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OCSP	kg/hr	131,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	131,04	0,00
LIGNINA	kg/hr	203,34	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	203,34	0,00
LIGNSOLU	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMCL	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CELULDIS	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMETSO	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMSO4	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMACO	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMACO	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,62	0,00
DBU	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TMG	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DMSO	kg/hr	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	1,01	0,00
ACETONA	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETHANOL	kg/hr	0,00	0,00	0,00	4,93	0,00	0,00	0,00	0,00

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

Description		Units	NAOH	NAOH-AC	NAOH-SOL	REC-ETOH	S2	S3	S4	S5
From	To									
Stream Class			PUMP4	PUMP5	REACTOR	SEP-NACL	CRUSHER	PUMP1	MIX-NAOH	PUMP2
			CONVEN	CONVEN	CONVEN	MIX3	MIX2	MIX1	DECANTER	MIX1
			CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
CELULOSA	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	439,44	0,00	439,44	0,00
ACETICO	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CLORHIDR	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FURFURAL	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GRUPACET	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NVDS	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OCSP	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	131,04	0,00	131,04	0,00
LIGNINA	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	203,34	0,00	203,34	0,00
LIGNSOLU	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMCL	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CELULDIS	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMETSO	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMSO4	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMACO	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMACO	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,62	0,00
DBU	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TMG	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DMSO	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,01	0,10
ACETONA	kg/hr		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETHANOL	kg/hr		0,00	0,00	0,00	93,69	0,00	0,00	0,00	0,00



EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[AoC]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

	Units	S6	S7	S8	S9	S12	S17	S18	S19
Description									
From		MIX1	DECANTER	DECANTER	MIXNAOH2	PUMP3	MIX3	SEP-HEMI	SEP-HEMI
To		MIX2	MIXNAOH2	PUMP6	PUMP7	MIX1	SEP-HEMI	HX2	PURIFIC2
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
CELULOSA	kg/hr	0,00	320,79	118,65	320,79	0,00	118,65	0,00	118,65
ACETICO	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CLORHIDR	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61	0,60	0,01
FURFURAL	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GRUPACET	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NVDS	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OCSP	kg/hr	0,00	11,79	119,25	11,79	0,00	119,25	0,00	119,25
LIGNINA	kg/hr	0,00	6,10	197,24	6,10	0,00	197,24	0,00	197,24
LIGNSOLU	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMCL	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CELULDIS	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMEISO	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMSO4	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMACO	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMACO	kg/hr	3,62	0,00	3,62	0,00	3,62	3,62	3,62	0,00
DBU	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TMG	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DMSO	kg/hr	1,01	0,00	1,01	0,00	0,91	0,91	0,91	0,00
ACETONA	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETHANOL	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,63	93,69	4,93

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[A<sub>o</sub>C]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

	Units	BIOMASA	CELLULOS	DMSO	ETOH	HCL	LIQ-IONI	MEZCLA1	NACL
Description		SEP-CELL				MIX2		SEP-NACL	
From		CRUSHER	PURIFIC1	PUMP2	MIX3	MIX3	PUMP1	PUMP9	
To		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
NAOH	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NACL	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96
<b>Mass Fractions</b>									
XYLOSA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AGUA		0,00	0,00	0,00	0,04	0,85	0,00	0,00	0,00
HEMICELU		0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00
CELULOSA		0,42	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00
ACETICO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CLORHIDR		0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00
FURFURAL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GRUPACET		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NVDS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OCSP		0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00
LIGNINA		0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00
LIGNSOLU		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMCL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CELULDIS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMETSO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMMSO4		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMACO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMACO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
DBU		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TMG		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DMSO		0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ACETONA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETHANOL		0,00	0,00	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00
NAOH		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NACL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Volume Flow	l/min	11,70	3,50	0,00	0,11	0,07	0,00	11,79	0,01

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[A<sub>o</sub>C]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

	Units	NAOH	NAOH-AC	NAOH-SOL	REC-ETOH	S2	S3	S4	S5
<b>Description</b>									
<b>From</b>					SEP-NACL	CRUSHER	PUMP1	MIX-NAOH	PUMP2
<b>To</b>					MIX3	MIX2	MIX1	DECANTER	MIX1
<b>Stream Class</b>		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
NAOH	kg/hr	0,17	0,12	0,66	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00
NACL	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Mass Fractions</b>									
XYLOSA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AGUA		1,00	0,97	0,00	0,36	0,00	0,00	0,04	0,00
HEMICELU		0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00	0,24	0,00
CELULOSA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00	0,40	0,00
ACETICO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CLORHIDR		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FURFURAL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GRUPACET		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NVDS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OCSP		0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,12	0,00
LIGNINA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,19	0,00
LIGNSOLU		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMCL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CELULDIS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMETSO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMMSO4		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMACO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMACO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
DBU		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TMG		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DMSO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
ACETONA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETHANOL		0,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00
NAOH		0,00	0,03	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NACL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Volume Flow</b>	<b>l/min</b>	0,69	0,07	0,01	2,88	11,70	0,00	12,63	0,00

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA; MEDIANTE EL USO DE LÍQUIDOS IÓNICOS (EMIM[A<sub>o</sub>C]) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (FLORES), A ESCALA INDUSTRIAL

	Units	S6	S7	S8	S9	S12	S17	S18	S19
Description									
From		MIX1	DECANTER	DECANTER	MIXNAOH2	PUMP3	MIX3	SEP-HEMI	SEP-HEMI
To		MIX2	MIXNAOH2	PUMP6	PUMP7	MIX1	SEP-HEMI	HX2	PURIFIC2
Stream Class		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
NAOH	kg/hr	0,00	0,00	0,17	0,12	0,00	0,17	0,00	0,17
NACL	kg/hr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Mass Fractions</b>									
XYLOSA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AGUA		0,19	0,02	0,05	0,03	0,19	0,07	0,35	0,00
HEMICELU		0,00	0,10	0,32	0,10	0,00	0,27	0,00	0,34
CELULOSA		0,00	0,83	0,17	0,82	0,00	0,14	0,00	0,18
ACETICO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CLORHIDR		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FURFURAL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GRUPACET		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NVDS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OCSF		0,00	0,03	0,17	0,03	0,00	0,15	0,00	0,18
LIGNINA		0,00	0,02	0,28	0,02	0,00	0,24	0,00	0,29
LIGNSOLU		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMCL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CELULDIS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMETSO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMSO4		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMIMACO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMIMACO		0,64	0,00	0,01	0,00	0,65	0,00	0,02	0,00
DBU		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TMG		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DMSO		0,18	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,01	0,00
ACETONA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETHANOL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,61	0,01
NAOH		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NACL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Volume Flow</b>	<b>l/min</b>	<b>0,32</b>	<b>4,29</b>	<b>8,33</b>	<b>4,37</b>	<b>0,09</b>	<b>150,55</b>	<b>145,19</b>	<b>7,74</b>